



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

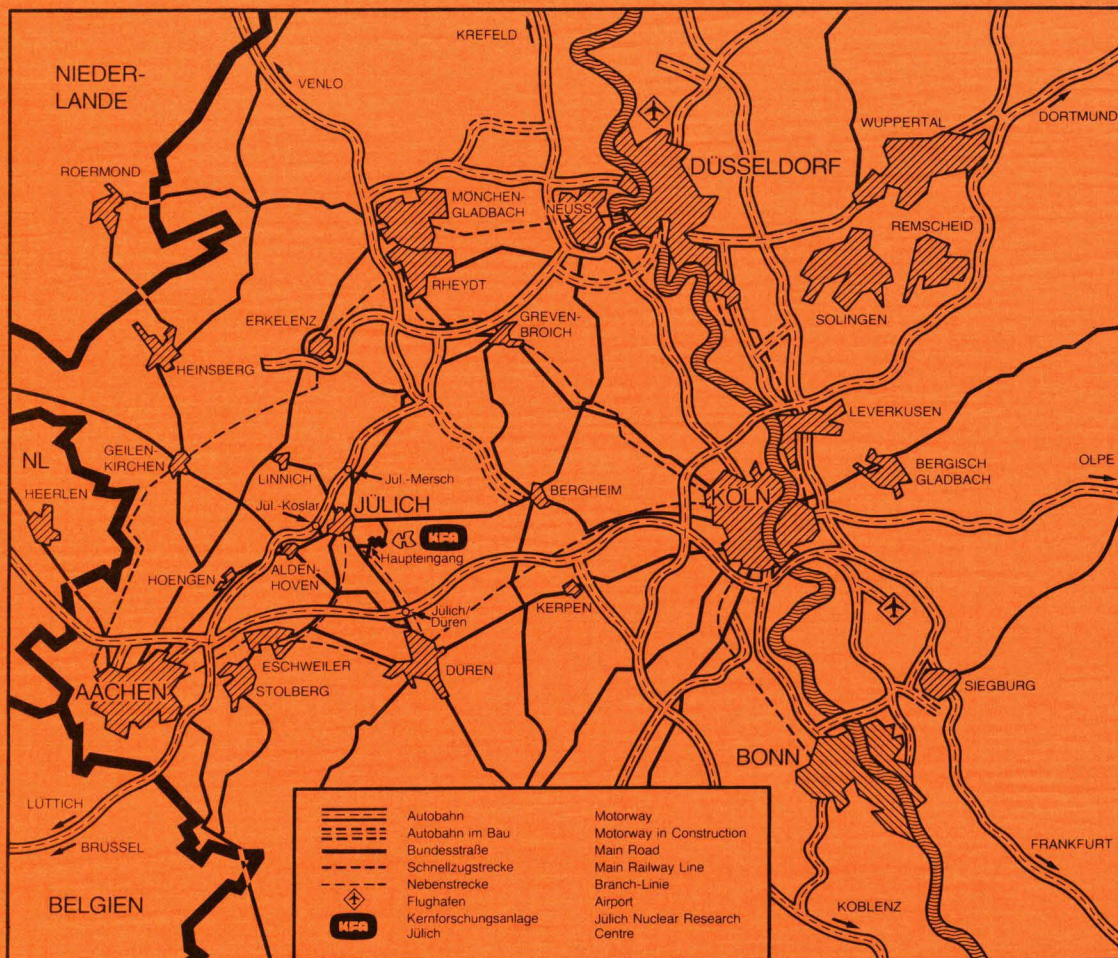
Technische Dienste – Mechanische Werkstätten

**Konstruktion des Kryosammlers Typ V
zur Entnahme von Luftproben in der
Stratosphäre**

von

Josef Mülheims

Jül-Spez-420
Oktober 1987
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 420
 Technische Dienste – Mechanische Werkstätten Jül-Spez-420

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Konstruktion des Kryosammlers Typ V zur Entnahme von Luftproben in der Stratosphäre

von

Josef Mülheims

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung und Aufgabenstellung	1
2. Grundlagen der Meßmethode von Radikalen-Konzentrationen	2
2.1. Matrix-Isolationstechnik	2
2.2. Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie (ESR)	2
3. Prinzip des Kryosammlers	4
4. Anforderungen an den Kryosammler	5
5. Konstruktionsbeschreibungen	7
5.1. Konstruktionsbeschreibung des Kryosammlers	7
5.2. Konstruktionsbeschreibung des LN ₂ -Einfüllstutzens	13
5.3. Konstruktionsbeschreibung des Ventiltellers	14
6. Konstruktion der Drahtaufhängung	17
7. Luftprobenentnahme und Transport zum Labor	20

	<u>Seite</u>
8.	Berechnung des Kryosammlers 21
8.1.	Festigkeitsberechnung 21
8.1.1.	Festigkeitsberechnung nach AD-Merkblättern 21
8.1.1.1.	Berechnung des Außenmantels 22
8.1.1.2.	Berechnung des LN ₂ -Tanks 27
8.1.1.3.	Berechnung der Zeolithpumpe 32
8.1.2.	Festigkeitsberechnung der Spanndrähte 36
8.1.2.1.	Berechnung der senkrechten Verspannung 36
8.1.2.2.	Berechnung der tangentialen Verspannung 38
8.1.3.	Festigkeitsberechnung der Schweißnähte am Außenmantel 42
8.1.3.1.	Verbindungsnaht zwischen Ventilteller und Klöpperboden 42
8.1.3.2.	Verbindungsnaht zwischen Klöpperboden und Spannring 44
8.1.4.	Festigkeitsberechnung der Zahnräder 49
8.1.5.	Lagerberechnung 50
8.2.	Wärmebilanz des Kryosammlers 51
8.2.1.	Wärmebelastung durch Wärmeleitung der Festkörper 51

	<u>Seite</u>	
8.2.2.	Wärmebelastung durch Strahlung	53
8.2.3.	Wärmebelastung durch Wärmeleitung des Restgases	56
8.2.4.	Gesamte Wärmebelastung und Verdampfungsrate des Kryosammlers	58
8.2.5.	Standzeit des Kryosammlers bei 80 % LN ₂ -Verbrauch	59
9.	Technische Daten	60
10.	Literaturverzeichnis	61

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Einfluß natürlicher und anthropogener gas- und staubförmiger Schadstoffe auf die gesamte Atmosphäre und die mit ihr verbundenen Biotopie wird wissenschaftlich eingehend untersucht, mit dem Ziel, wirksame Strategien für die Lösung der damit zusammenhängenden Umweltprobleme zu entwickeln. Wegen der hohen chemischen Reaktivität haben diese Schadstoffe nur eine sehr kurze Lebensdauer und daher nur niedrige Konzentrationen. Diese für das Messen der Schadstoffe sehr ungünstigen Eigenschaften müssen bei der Probennahmetechnik sorgfältig berücksichtigt werden.

Das Institut ICH 2 der Kernforschungsanlage Jülich beschäftigt sich seit über 10 Jahren mit der Luftprobenentnahme. Die Luftprobensammlung mit Ballon-Kryostaten ermöglicht die Untersuchung und Messung einer großen Zahl von Spurenstoffen aus der Stratosphäre. Innerhalb dieser 10 Jahre wurden bereits vier Kryosammler auf der Basis experimenteller, ingenieur- und fertigungstechnischer Erfahrungen zusammen mit dem Institut ICH 2 in der Abteilung TD-MW entworfen, gefertigt und erprobt, wobei jeder einzelne Kryostat eine optimierte Ausführung des vorher gebauten war. Ziel dieser Diplomarbeit ist es nun, den bei der Landung verunglückten, und damit unbrauchbar gewordenen Kryosammler Typ IV neu zu konstruieren. Gewisse, seit Jahren bewährte Systemteile und Funktionsprinzipien können in die neue Konstruktion mit einbezogen werden.

Diese Diplomarbeit beinhaltet die Berechnung des Sammlers, die Erstellung der Zusammenstellungszeichnungen sowie die Ausarbeitung von Einzelteilzeichnungen und Stücklisten in enger Zusammenarbeit mit der Werkstatt.

2. Grundlagen der Meßmethode von Radikalen-Konzentrationen

2.1. Matrix-Isolationstechnik /4/

Die Schadstoffe der Atmosphäre müssen in ausreichender Konzentration für die Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie (ESR) gewonnen werden. Dazu ist eine Anreicherungsverfahren erforderlich, welche die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Luftprobe nicht verändert. Geeignet dafür ist die Matrix-Isolationstechnik. Die Matrixstruktur wird durch einen an den Kühlfingern ausgefrorenen, inerten Matrixbildner, in diesem Fall gefrorener D_2O -Dampf gebildet, der für eine ausreichende Trennung der in den Luftproben enthaltenen Radikale sorgt. Damit können dickere Schichten auf den Kühlfingern eingefroren werden. Wählt man dabei die Ausfrieretemperatur tief genug, dann wird die Diffusionsgeschwindigkeit der Radikale in der festen Matrix so weit verringert, daß die Proben über lange Zeit ohne wesentliche Abnahme ihrer Konzentration aufbewahrt werden können.

Der Kryosammler enthält aus diesem Grund am beheizbaren Boden ein kleines D_2O -Reservoir. Mittels Temperatur- und Druckregelung verdampfen einstellbare, kleine D_2O -Mengen. Der Dampf gelangt durch einen scheibenförmigen Sinterkörper und Rohre zu einem zweiten, ringförmig um die Düsenöffnung angeordneten Sinterkörper. Werden die Düsen geöffnet, kondensieren mit dem D_2O -Dampf gleichzeitig die aus dem einströmenden Atmosphärgas zu untersuchenden Radikale an den Kühlfingern. Dabei bildet der D_2O -Dampf die gewünschte Matrixstruktur.

2.2. Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie (ESR) /4/5/

Radikale haben durch die quasifreien äußeren Elektronen ein permanentes magnetisches Moment, das durch die ungepaarten Spins dieser Elektronen hervorgerufen wird. Ohne äußeres Magnetfeld sind die Richtungen der ungepaarten Spins durch die Wärmebewegung gleichmäßig verteilt. Die Spins haben keine Vorzugsrichtung und damit weisen die Radikale auch keine magnetische Polarisierung auf. Bringt man die Radikale in das Magnetfeld des ESR-Spektrometers, kann durch die elektromagnetische Strahlung die

Gleichverteilung der Elektrospins aufgehoben werden, so daß eine Ausrichtung (Umkklappung) der Spins entsprechend dem angelegten Magnetfeld eintritt. Diese Ausrichtung der Spins bedingt eine Änderung des Energiezustandes der Elektronen und hat die Absorption oder Emission elektromagnetischer Strahlung zur Folge, wobei nach der Quantentheorie nur diskrete Energiezustände möglich sind. Dieser Energiebetrag ist spezifisch für jedes Radikal und entspricht der Photonenenergie

$$\Delta E = h \cdot \nu_R$$

h = Plank'sches Wirkungsquantum ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js)

ν_R = Resonanzfrequenz

Die Resonanzfrequenz ist hierbei der angelegten magnetischen Feldstärke proportional. Die Frequenz, mit der bei der ESR-Spektroskopie Radikale untersucht werden, liegt im Bereich von etwa 8 bis 10 GHz.

Um die in der Atmosphäre gesammelten Proben untersuchen zu können, müssen zuvor Eichmessungen durchgeführt werden. Aus diesem Grund werden im Labor Probenfinger mit einer Matrix belegt, die ein bestimmtes Radikal in bekannter Konzentration enthält. Die aus diesen Eichmessungen gewonnenen ESR-Spektren bestimmter Radikale werden später mit den ESR-Spektren der atmosphärischen Proben verglichen, wodurch die unbekannten Radikale der Atmosphäre identifiziert und ihre Konzentration ermittelt werden kann.

3. Prinzip des Kryosammlers

Der Sammler ist in einem sechseckigen Rohrgestell mit stoßgedämpften Seilen verspannt. Im Außenmantel des Sammlers hängt der mit Superisolation umwickelte LN_2 -Tank an senkrechten und tangentialen Spanndrähten. Im LN_2 -Tank ist am unteren Ende ein vergoldeter Wärmetauscher aus Kupfer angelötet. Mit diesem Wärmetauscher verbunden ist eine mit Zeolith gefüllte Kryoadsorptionspumpe, die in den LN_2 -Tank hineinragt. Diese Pumpe sorgt für die Aufrechterhaltung des Vakuums im Sammelraum während des Fluges. Über einen Membranbalg ist der Sammelraum vom Zwischenvakuum abgetrennt. An den Wärmetauscher werden die 14 vergoldeten Probenfinger aus reinstem Kupfer (OF-Cu) kontaktiert. Durch Wärmeleitung werden diese Finger über den Wärmetauscher gekühlt.

Eine Temperaturerniedrigung des Kältemittels erreicht man durch Drucksenkung über dem Stickstoffbad. Während des Fluges wird der Druck über dem Stickstoffbad durch die offene Abgasleitung verringert, da der Luftdruck mit der Höhe abnimmt. Durch diese Maßnahme erreicht man an den Probenfinger eine Temperatur von ca. 70 K. Jedoch ist diese Art der Temperaturerniedrigung auch mit einem höheren LN_2 -Verbrauch verbunden. Sinkt die Temperatur unter 70 K, so wird das Abgasventil geschlossen, um so das Zufrieren der Stickstoffkapillare im Wärmetauscher zu verhindern.

Gegenüber den 14 Probenfingern ist jeweils eine Einlaßdüse in den Schiebern des Ventiltellers eingebaut. Die Schieber lassen sich über Telemetrie von der Bodenstation bewegen, so daß die Einlaßventile geöffnet und geschlossen werden können. Bei geöffnetem Ventil strömt stratosphärische Außenluft durch die Düse in den Sammelraum. Durch den Druckunterschied strömt die Luft in Form eines Molekularstrahles um die Probenfinger, wobei die auszufrierenden Anteile der eingeströmten Luft mit dem zugegebenen Matrixbildner auf den gekühlten Probenfingern gefrieren. Der Rest des eingeströmten Gases wird von der Kryoadsorptionspumpe abgepumpt. Nach Ablauf einer bestimmten Sammelzeit wird der Ventilschieber geschlossen und die Luftprobe verbleibt nun über längere Zeit in diesem gekühlten Zustand, bis schließlich die Untersuchungen im Labor beendet sind.

4. Anforderungen an den Kryosammler

Die Luftproben werden im Sinkflug überlappend durch Schock-Einfrieren auf vergoldeten Kühlfingern gesammelt. Überlappend bedeutet in diesem Fall, daß ein Ventil erst geschlossen wird, wenn ein anderes bereits geöffnet ist. Die gesammelten Proben dienen zur Messung von Radikalkonzentrationen in der Stratosphäre. Durch diese Meßmethode erhält man ein höhenabhängiges Konzentrationsprofil der Radikale. Das Hauptziel ist, die für den stratosphärischen Ozonabbau wichtigen HO_2^- , NO_2^- und OH-Radikale zu untersuchen. Die Proben werden in einem Meßkryostaten im ESR-Spektrometer untersucht. Das beim Sammelvorgang mitausgefrorene Formaldehyd (CH_2O) wird nach dem ESR-Meßvorgang und Auftauen der Proben mittels Hochdruckflüssigchromatographie (HPLC) gemessen.

Die Neukonstruktion des Kryosammlers wurde notwendig, da der alte Kryosammler Typ IV verunglückt ist. Das erweiterte Meßprogramm, d.h. die Formaldehydmessung und die Erhöhung der Probenzahl, soll bei der Konstruktion berücksichtigt werden. Bedingt durch die Kühlfingeranzahlerhöhung muß die Kryoadsorptionspumpe und der LN_2 -Tank entsprechend größer ausgelegt werden. Der LN_2 -Tank muß genügend groß bemessen sein, damit die Kühlung der Kryoadsorptionspumpe und der Probenfinger in jeder Position des Sammlers auch noch mehrere Stunden nach der Landung gewährleistet ist. Der Pumpenkörper soll auf Grund der starken mechanischen Beanspruchung aus rostfreiem Stahl gefertigt werden. Durch diese Schweißkonstruktion können die bei einer aus Kupfer gelöteten Konstruktion auftretenden Kaltlecks vermieden werden. Die Zeolithentnahme zum Regenerieren des Zeoliths soll durch Absaugen vereinfacht werden.

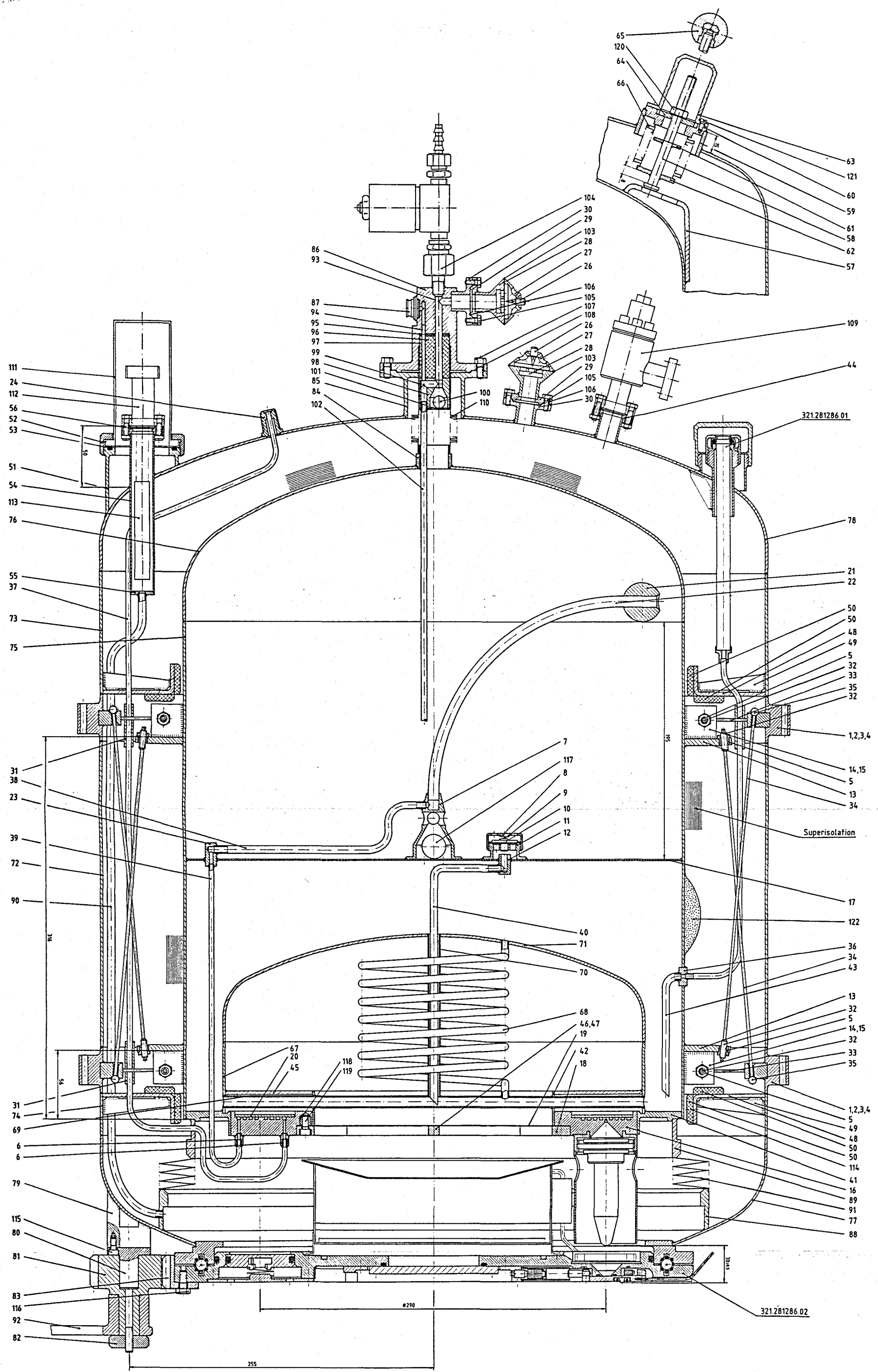
Nach dem Flug fällt der Sammler mit Hilfe von Fallschirmen auf den Boden zurück. Die Aufprallgeschwindigkeit beträgt hierbei ca. 5 m/s. Im Landegestell sind zur Dämpfung des Aufschlages Stoßdämpfer in den Halteseilen eingebaut. Diese Dämpfer begrenzen die entstehende Beschleunigung auf den Sammler auf etwa $10 \cdot g$. Diese Beschleunigung muß der Sammler mit genügender Sicherheit gegen Zerstörung aushalten können. Der Durchmesser der Spanndrähte sowie die Drahtendenform müssen aus diesem Grund entsprechend gewählt werden. Bei zu großem Durchsacken des LN_2 -Tanks muß

der LN_2 -Behälter mit den am Wärmetauscher angeschraubten Probenfingern wieder in seine ursprüngliche Position angehoben werden können, um ein problemloses Herausschrauben der Finger zu gewährleisten. Dieses Durchsacken soll auf etwa 2 mm begrenzt werden. Aus Sicherheitsgründen sind sämtliche Anschlüsse und Meßgeräte auf dem oberen Klöpperboden des Außenmantels anzubringen, da so der Sammler vor Beschädigung bei der Landung besser geschützt ist.

Da die Lage des Sammlers nach der Landung stets dem Zufall überlassen ist, muß der LN_2 -Tank in jeder nur denkbaren Lage auslaufsicher sein, so daß ein Verlust von flüssigem Stickstoff nicht eintreten kann.

Der Ventilteller zum Ausschleusen der Probenfinger muß auch bei evakuiertem Sammelraum von Hand leicht drehbar sein. Zur Verbesserung der Drehbarkeit soll ein Wälzlager eingebaut werden, sowie die Drehung über ein Zahnradpaar mit aufgesteckter Kurbel ermöglicht werden. Zahnrad und Kurbel müssen vor dem Start des Sammlers abbaubar sein, da das Gewicht des Sammlers während des Fluges so niedrig wie möglich gehalten werden soll.

In den Ventilschiebern sollen die Düsen auch bei evakuiertem Sammelraum austauschbar sein. Damit an den Düsen und am Flansch keine Vereisungen auftreten und Wasserdampf kondensieren kann, sollte der Flansch, mit einer Heizung versehen und auf einer Temperatur von 0 - 20°C gehalten werden.



Schneide Kanten 0,4 gebrochen		Zeichnungs-Nr. 321.281286		Formel 0	
Angebot für die Ausführung des Bauteils		Material		Maßstab 1:1	
Freischnittmaß 1148 mm		Menge			
oder unter oder über dem		Toleranz			
in mm		Kriterium			
0,05 bis 0,20		0,03 bis 0,05			
0,20 bis 0,50		0,05 bis 0,10			
0,50 bis 1,00		0,10 bis 0,20			
1,00 bis 2,00		0,20 bis 0,50			
2,00 bis 5,00		0,50 bis 1,00			
5,00 bis 10,00		1,00 bis 2,00			
10,00 bis 20,00		2,00 bis 5,00			
20,00 bis 50,00		5,00 bis 10,00			
50,00 bis 100,00		10,00 bis 20,00			
100,00 bis 200,00		20,00 bis 50,00			
200,00 bis 500,00		50,00 bis 100,00			
500,00 bis 1000,00		100,00 bis 200,00			
1000,00 bis 2000,00		200,00 bis 500,00			
2000,00 bis 5000,00		500,00 bis 1000,00			
5000,00 bis 10000,00		1000,00 bis 2000,00			
10000,00 bis 20000,00		2000,00 bis 5000,00			
20000,00 bis 50000,00		5000,00 bis 10000,00			
50000,00 bis 100000,00		10000,00 bis 20000,00			
100000,00 bis 200000,00		20000,00 bis 50000,00			
200000,00 bis 500000,00		50000,00 bis 100000,00			
500000,00 bis 1000000,00		100000,00 bis 200000,00			
1000000,00 bis 2000000,00		200000,00 bis 500000,00			
2000000,00 bis 5000000,00		500000,00 bis 1000000,00			
5000000,00 bis 10000000,00		1000000,00 bis 2000000,00			
10000000,00 bis 20000000,00		2000000,00 bis 5000000,00			
20000000,00 bis 50000000,00		5000000,00 bis 10000000,00			
50000000,00 bis 100000000,00		10000000,00 bis 20000000,00			
100000000,00 bis 200000000,00		20000000,00 bis 50000000,00			
200000000,00 bis 500000000,00		50000000,00 bis 100000000,00			
500000000,00 bis 1000000000,00		100000000,00 bis 200000000,00			
1000000000,00 bis 2000000000,00		200000000,00 bis 500000000,00			
2000000000,00 bis 5000000000,00		500000000,00 bis 1000000000,00			
5000000000,00 bis 10000000000,00		1000000000,00 bis 2000000000,00			
10000000000,00 bis 20000000000,00		2000000000,00 bis 5000000000,00			
20000000000,00 bis 50000000000,00		5000000000,00 bis 10000000000,00			
50000000000,00 bis 100000000000,00		10000000000,00 bis 20000000000,00			
100000000000,00 bis 200000000000,00		20000000000,00 bis 50000000000,00			
200000000000,00 bis 500000000000,00		50000000000,00 bis 100000000000,00			
500000000000,00 bis 1000000000000,00		100000000000,00 bis 200000000000,00			
1000000000000,00 bis 2000000000000,00		200000000000,00 bis 500000000000,00			
2000000000000,00 bis 5000000000000,00		500000000000,00 bis 1000000000000,00			
5000000000000,00 bis 10000000000000,00		1000000000000,00 bis 2000000000000,00			
10000000000000,00 bis 20000000000000,00		2000000000000,00 bis 5000000000000,00			
20000000000000,00 bis 50000000000000,00		5000000000000,00 bis 10000000000000,00			
50000000000000,00 bis 100000000000000,00		10000000000000,00 bis 20000000000000,00			
100000000000000,00 bis 200000000000000,00		20000000000000,00 bis 50000000000000,00			
200000000000000,00 bis 500000000000000,00		50000000000000,00 bis 100000000000000,00			
500000000000000,00 bis 1000000000000000,00		100000000000000,00 bis 200000000000000,00			
1000000000000000,00 bis 2000000000000000,00		200000000000000,00 bis 500000000000000,00			
2000000000000000,00 bis 5000000000000000,00		500000000000000,00 bis 1000000000000000,00			
5000000000000000,00 bis 10000000000000000,00		1000000000000000,00 bis 2000000000000000,00			
10000000000000000,00 bis 20000000000000000,00		2000000000000000,00 bis 5000000000000000,00			
20000000000000000,00 bis 50000000000000000,00		5000000000000000,00 bis 10000000000000000,00			
50000000000000000,00 bis 100000000000000000,00		10000000000000000,00 bis 20000000000000000,00			
100000000000000000,00 bis 200000000000000000,00		20000000000000000,00 bis 50000000000000000,00			
200000000000000000,00 bis 500000000000000000,00		50000000000000000,00 bis 100000000000000000,00			
500000000000000000,00 bis 1000000000000000000,00		100000000000000000,00 bis 200000000000000000,00			
1000000000000000000,00 bis 2000000000000000000,00		200000000000000000,00 bis 500000000000000000,00			
2000000000000000000,00 bis 5000000000000000000,00		500000000000000000,00 bis 1000000000000000000,00			
5000000000000000000,00 bis 10000000000000000000,00		1000000000000000000,00 bis 2000000000000000000,00			
10000000000000000000,00 bis 20000000000000000000,00		2000000000000000000,00 bis 5000000000000000000,00			
20000000000000000000,00 bis 50000000000000000000,00		5000000000000000000,00 bis 10000000000000000000,00			
50000000000000000000,00 bis 100000000000000000000,00		10000000000000000000,00 bis 20000000000000000000,00			
100000000000000000000,00 bis 200000000000000000000,00		20000000000000000000,00 bis 50000000000000000000,00			
200000000000000000000,00 bis 500000000000000000000,00		50000000000000000000,00 bis 100000000000000000000,00			
500000000000000000000,00 bis 1000000000000000000000,00		100000000000000000000,00 bis 200000000000000000000,00			
1000000000000000000000,00 bis 2000000000000000000000,00		200000000000000000000,00 bis 500000000000000000000,00			
2000000000000000000000,00 bis 5000000000000000000000,00		500000000000000000000,00 bis 1000000000000000000000,00			
5000000000000000000000,00 bis 10000000000000000000000,00		1000000000000000000000,00 bis 2000000000000000000000,00			
10000000000000000000000,00 bis 20000000000000000000000,00		2000000000000000000000,00 bis 5000000000000000000000,00			
20000000000000000000000,00 bis 50000000000000000000000,00		5000000000000000000000,00 bis 10000000000000000000000,00			
50000000000000000000000,00 bis 100000000000000000000000,00		10000000000000000000000,00 bis 20000000000000000000000,00			
100000000000000000000000,00 bis 200000000000000000000000,00		200000000000000000000000,00 bis 500000000000000000000000,00			
200000000000000000000000,00 bis 500000000000000000000000,00		500000000000000000000000,00 bis 1000000000000000000000000,00			
500000000000000000000000,00 bis 1000000000000000000000000,00		1000000000000000000000000,00 bis 2000000000000000000000000,00			
1000000000000000000000000,00 bis 2000000000000000000000000,00		2000000000000000000000000,00 bis 5000000000000000000000000,00			
2000000000000000000000000,00 bis 5000000000000000000000000,00		5000000000000000000000000,00 bis 10000000000000000000000000,00			
5000000000000000000000000,00 bis 10000000000000000000000000,00		10000000000000000000000000,00 bis 20000000000000000000000000,00			
10000000000000000000000000,00 bis 20000000000000000000000000,00		20000000000000000000000000,00 bis 50000000000000000000000000,00			
20000000000000000000000000,00 bis 50000000000000000000000000,00		50000000000000000000000000,00 bis 100000000000000000000000000,00			
50000000000000000000000000,00 bis 100000000000000000000000000,00		100000000000000000000000000,00 bis 200000000000000000000000000,00			
100000000000000000000000000,00 bis 200000000000000000000000000,00		200000000000000000000000000,00 bis 500000000000			

5. Konstruktionsbeschreibungen

5.1. Konstruktionsbeschreibung des Kryosammlers

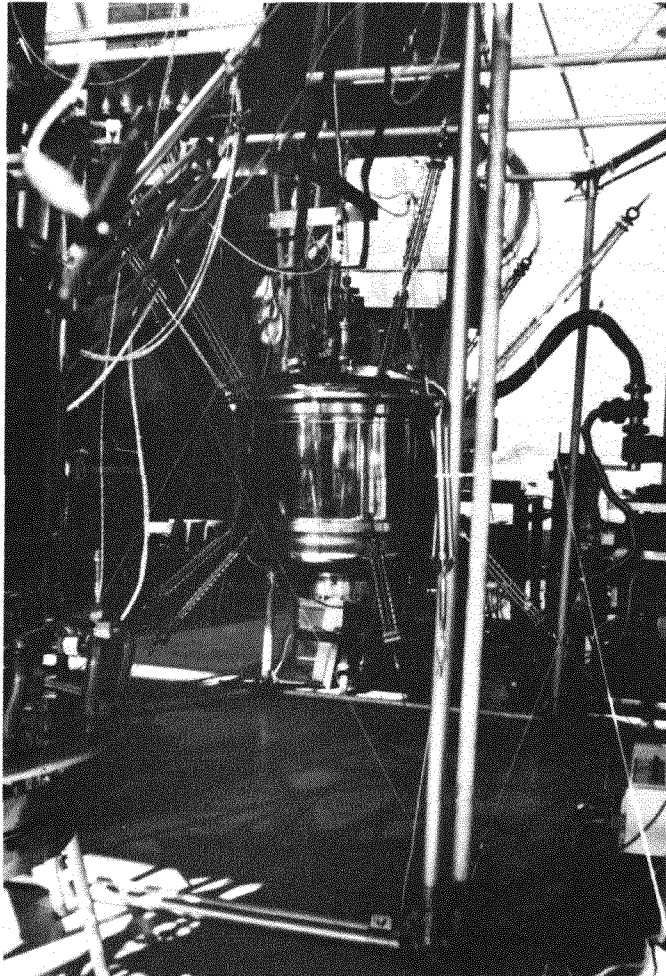


Abb.: 1

Abb.: 1 zeigt den im Landegestell montierten Kryosammler Typ IV

Nach seiner Flugzeit landet der Sammler, getragen von drei Fallschirmen, mit einer Aufprallgeschwindigkeit von etwa 5 m/s. Da der Landeplatz bei Ballonflügen nicht genau vorherbestimmt werden kann und die Landung evtl. auch im Gebirge, auf Bäumen usw. erfolgt, ist der Sammler stoßfest und überrollsicher in einem elastischen Landegestell aufgehängt. Auch der LN_2 -Tank ist mit den daran befestigten Einrichtungen durch vorgespannte Seile elastisch mit dem Außenmantel verbunden, so daß dessen Beschädigung selbst bei starken Stoßkräften vermieden werden kann.

Abb.: 2 zeigt die verkleinerte Zusammenstellungszeichnung des neu konstruierten Kryosammlers.

Die im Folgenden in Klammern angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Zahlen in dieser Abbildung.

Der Sammler wird über die Spannringe (1) und über 6 stoßgedämpfte Seile in einem sechseckigen, aus Rohren gefertigten Landegestell, gehalten. Im äußeren Mantel, der sich aus 2 Klöpperböden (77, 78) und 3 Zylindermänteln (72, 73, 74) zusammensetzt, ist der LN_2 -Tank (75, 76) mit gespannten Stahldrähten (34) aufgehängt. Je 12 Drähte mit einem Durchmesser von 2,5 mm nehmen den Zug nach unten und nach oben auf. An weiteren 24 Spanndrähten (33) mit einem Durchmesser von 2,5 mm ist der Stickstofftank tangential mit dem Außenmantel verspannt. Die Drähte erhalten eine Vorspannung mittels Spannvorrichtung (5, 32, 35).

Eine ausreichende Isolierung des LN_2 -Tanks vom Außenmantel wird durch Anbringung einer Vielschicht- oder Superisolation erreicht. Dabei wird der zu isolierende Körper, hier der LN_2 -Tank mit vielen Schichten einer einseitig mit Aluminium bedampften Kunststoffolie oder in abwechselnden Lagen mit einer Aluminiumfolie und einer dünnen Glasseidematte umwickelt. Die Wicklung muß jedoch so lose sein, daß eine nahezu freie Aufhängung der einzelnen Lagen gewährleistet ist und somit die Festkörperleitung durch die Isolationsschicht gering bleibt. Die Folien sind dabei entweder geknittert oder so profiliert, daß sie sich beim Aufeinanderwickeln möglichst wenig berühren. An das Isolationsvakuum werden bei Vielschichtisolation keine hohen Ansprüche gestellt. Der Druck sollte hierbei $p \leq 10^{-5}$ mbar sein. Dieses Vakuum zwischen Außenmantel und LN_2 -Tank wird über das Eckventil (109) erzeugt und mittels am Umfang des LN_2 -Tanks angebrachter Zeolithtaschen (122) aufrecht gehalten.

Nach der Landung des Kryosammlers muß die Kühlung der Proben in beliebiger Lage des Sammlers zuverlässig funktionieren. Aus diesem Grund ist am unteren Ende des LN_2 -Tanks über einen angeschweißten Zwischenring (41) ein Wärmetauscher (16) eingelötet, der auf seiner Innenseite eine schraubenförmige Kanüle hat. Das eine Ende der Kanüle ist über das Abgasrohr (37) und ein Magnetventil mit der äußeren Atmosphäre verbun-

den; Das andere Ende der Kanüle wird über die mit einem Gewicht (21) beschwerte, flexible Ansaugleitung (22), die ständig in das Kühlmittel eingetaucht bleibt und die Leitung (38, 39) mit LN_2 versorgt. Der Kühlmittelfluß wird durch Ausnutzung der sich einstellenden Druckdifferenzen im System gewährleistet, d.h. im LN_2 -Tank kommt es durch Wärmebelastung zur Verdampfung von LN_2 . Der sich daraus bildende Überdruck bewirkt nun bei geöffnetem Magnetventil am Ende des Abgasrohres (37), daß LN_2 durch den Wärmetauscher (16) fließt, dort durch Wärmebelastung verdampft und anschließend den Sammler über das Abgasrohr (37) als Gas verläßt. Somit ist eine kontinuierliche Kühlmittelversorgung des Wärmetauschers und damit der Kühlfinger mit den Luftproben auch nach der Landung gewährleistet. Während des Fluges befindet sich der Sammler in senkrechter Lage, so daß der Wärmetauscher an seiner oberen Seite von flüssigem Stickstoff umgeben ist und die Kühlung der mit ihm verbundenen Probefinger auch dann gesichert ist.

Durch einen Zwischenboden (17) ist der LN_2 -Tank in zwei Hälften geteilt. Über den LN_2 -Einfüllstutzen (s. Abb.: 3) kann die untere Hälfte des Tanks mit Stickstoff gefüllt werden. Durch das Ventil (7) strömt dann weiteres LN_2 in die obere Tankhälfte über, bis diese auch ganz gefüllt ist. Das im Zwischenboden (17) eingebaute Kugelventil (7, 117) verhindert das Auslaufen von LN_2 in die obere Tankhälfte, wenn der Sammler auf dem Kopf landet, da die Kugel (117) des Ventils bei dieser Position des Sammlers in den Sitz (7) fällt und so den Zwischenboden abdichtet. Im ungünstigsten Fall fließt bei Schräglage des Sammlers nur die Hälfte des LN_2 -Vorrates der unteren Tankhälfte in die obere, so daß die Kühlung der Kryoadsorptionspumpe ständig gesichert ist. Diese Kryoadsorptionspumpe (67, 71) hat ein Volumen von ca. 11 l. Mittels einer Kühlspirale (68) wird die Pumpe zusätzlich zur äußeren Kühlung am Zylindermantel (67) und am Klöpperboden (71), im Inneren von flüssigem Stickstoff gekühlt. Im Inneren der Pumpe befinden sich Zeolithe (Molekularsiebe). Diese Adsorptionsmittel sind Natrium- oder Kalzium-Aluminiumsilikate, deren innere Oberfläche im Vergleich zu ihrer äußeren geometrischen Oberfläche und zu ihrer Masse beträchtlich ist. Sie beträgt bei Zeolith 500 - 600 m^2/g . Durch Kühlung mittels flüssigem Stickstoff ist dieses Zeolith in der Lage, Gasteilchen an der Oberfläche auf Grund von physikalischen, temperaturabhängigen Adsorptionskräften zu binden. Das Sieb (119), das

durch den Ring (18) am Wärmetauscher (16) verschraubt ist, verhindert, daß die Zeolithkörner in den unteren Sammelraum gelangen. Nach Abschrauben von Ring und Sieb ist es möglich, das gesamte Zeolith aus dem Pumpenkörper abzusaugen und in einem Vakuumofen zu regenerieren.

Während des Sammelvorganges erfolgt zwischen der unteren und oberen LN_2 -Tankhälfte der Druckausgleich über das Kugelventil (7) und von der oberen Tankhälfte nach außen über das sich im Sammlerkopf befindliche Kugelventil (98, 100) und das angelötete Magnetventil (104). Befindet sich der Sammler nach der Landung in senkrechter Position, so erfolgt der Druckausgleich wie beim Sammelvorgang.

Über die Rohre (40, 69, 70), den Verbindungsstutzen (12) und das Druckventil (8, 9, 10, 11) wird der Druckausgleich innerhalb des LN_2 -Tanks bei nach Landung auf dem Kopf stehenden Sammler gewährleistet. Eine Druckentlastung nach außen kann in diesem Fall über das Röhrchen (102) und das Magnetventil (104) erfolgen. Durch das Kugelventil (100, 101) im Sammlerhals wird bei dem kopfstehenden Sammler das Auslaufen des flüssigen Stickstoffs verhindert.

Am Hals des Sammlers (86) und am oberen Klöpperboden (78) ist jeweils eine Platzmembran angeschweißt, die bei einem Überdruck von 3 bar birst. Sie schützen den LN_2 -Tank und den Außenmantel vor Zerstörung bei zu hohen Drücken.

Auf dem oberen Klöpperboden (78) des äußeren Mantels sitzt eine Thermo-tronröhre (113) (der Firma Leybold), die den Druck im Sammelraum ständig überwacht. Durch die O-Ring-gedichtete Schutzkappe (111) wird die Röhre vor äußeren Temperaturänderungen thermisch abgeschirmt. Weiterhin gehen durch das Rohr (90) die Zuleitungen zur Temperaturmessung des Wärmetauschers. Diese Messung erfolgt über Temperaturmeßwiderstände (PT 100). Die Werte gelangen über die Zuleitungen, einen Stecker (112) und über eine Stromdurchführung in der Kappe (111) nach außen und werden von dort durch die Bordelektronik zum Boden gefunkt.

Die Füllstandsmessung des Stickstoffs in der oberen Tankhälfte wird ebenfalls mittels Temperaturmeßwiderstände durchgeführt. Diese PT 100

werden am äußeren Umfang des Röhrchens (102) aufgeklebt und durch dieses Röhrchen (102) und den Stopfen zur Stromdurchführung (87) geführt. Von hier aus gelangen auch diese Werte über Bordelektronik zum Boden.

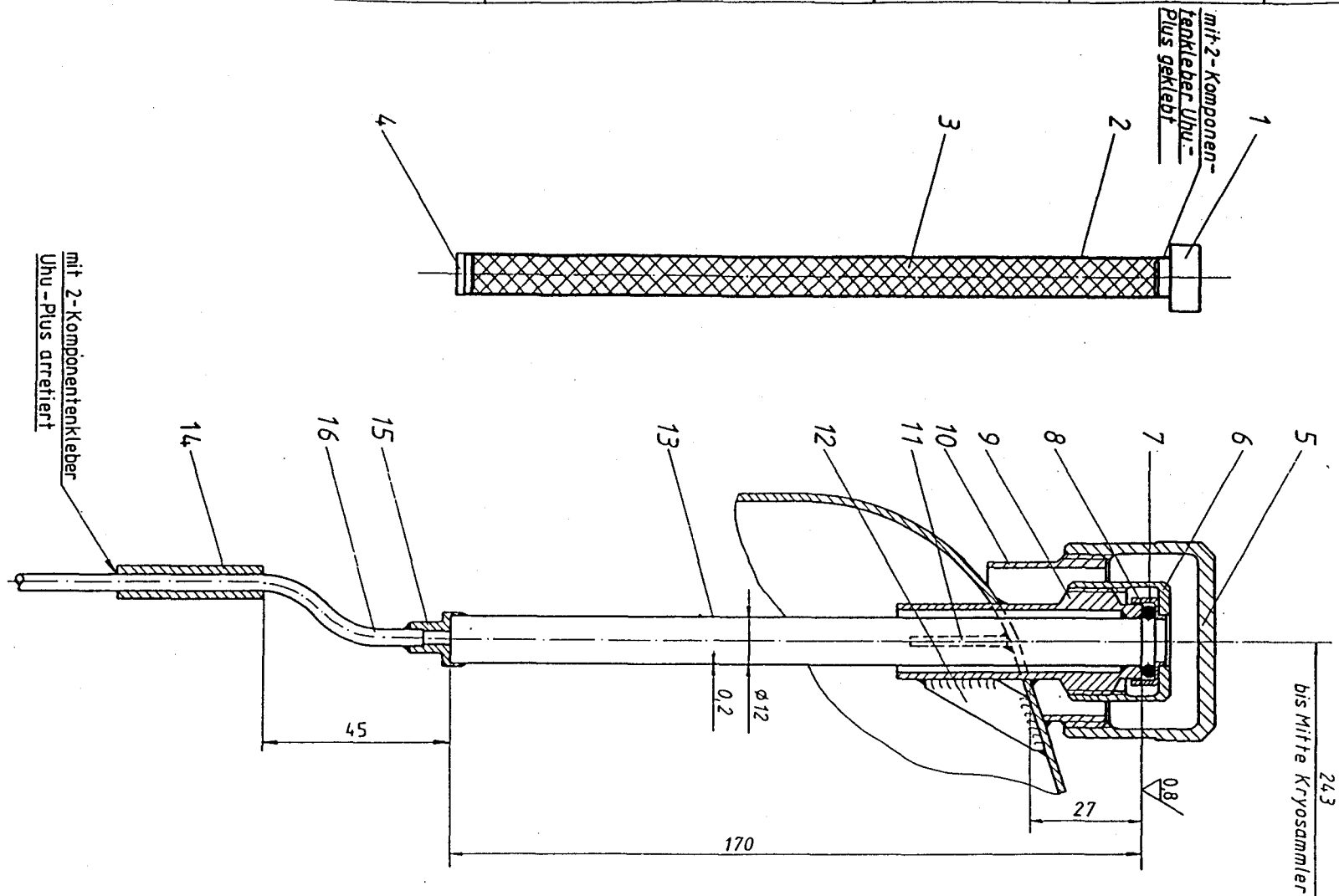
Sollten bei der Landung die Spanndrähte den auftretenden Stoßkräften nicht standhalten, so wird das Absacken des LN_2 -Tanks durch insgesamt 6 am Umfang des Außenmantels verteilte Auffangvorrichtungen (48, 49) in alle Richtungen auf höchstens 2 mm reduziert. Um die Wärmeleitung in diesem Fall zwischen der Halterung (14, 15) und der Auffangvorrichtung (48, 49) gering zu halten, sind auf der Auffangvorrichtung Distanzscheiben (50) aus glasfaserverstärktem Kunststoff aufgeschraubt. Durch diese Scheiben (50) wird der Stoß zusätzlich noch gedämpft.

Um ein problemloses Herausschrauben der Probenfinger nach einer verunglückten Landung zu ermöglichen, muß der LN_2 -Tank nach Abreißen der Stahlseile (32, 34) wieder in seine ursprüngliche Lage angehoben werden können. Aus diesem Grund sind am oberen Klöpperboden gleichmäßig verteilt drei Hebevorrichtungen angeschweißt. Diese Hebevorrichtung ist über einen Edelstahlbalg (66) vakuumgedichtet. Nach der verunglückten Landung muß die Schutzkappe (63) abgeschraubt werden. Nach dem Lösen der Sechskantmutter (120) und Aufschrauben des Kugelknopfes (65) wird der Hebestift (58) in den Haltebügel (57) eingerastet. Durch Anziehen der Sechskantmutter (120) ist es nun möglich, den LN_2 -Tank mit den angeschraubten Probenfingern in die gewünschte Position zu justieren, so daß die Finger ohne Probleme entnommen werden können.

Bei der Probenentnahme ist es notwendig, daß der äußere Flansch drehbar gelagert ist. Die Drehung erfolgt über ein Zahnradpaar (81, 83). Nach der Landung des Sammlers wird der Zahnkranz (83) auf den Flansch aufgeschraubt. An die an den Klöpperboden (77) angeschweißten Stege (79) wird der Führungsbolzen (80) mit Zylinderschrauben (115) befestigt. Anschließend wird das Ritzel (81) auf den Führungsbolzen geschoben und die Kurbel (92) aufgesteckt. Ritzel und Kurbel werden dann mittels der Rändelmutter (82) gegen Herunterfallen gesichert.

Der im unteren Bereich des Kryosammlers eingeschweißte Membranbalg (91) trennt den Sammelraum vom übrigen Bereich des Zwischenvakuumraumes ab.

Durch diese Maßnahme wird die Oberfläche des Sammelraumes minimiert, so daß die Desorption von der Wandung verringert wird und mittels der Zeolithpumpe das notwendige Vakuum im Sammelraum schneller erreicht werden kann. Durch die Abtrennung des Sammelraumes kann im Zwischenvakuum ein gleichmäßiger Druck (auch während der Probennahme) gehalten werden, so daß hier die Anbringung der Superisolation möglich wird. Durch diese konstruktiv einfache Superisolation kann auf einen doppelwandigen LN_2 -Tank, ausgeführt als Dewar-Gefäß, verzichtet werden. Weiterhin wird durch den Membranbalg eine Verschmutzung des Probengases durch Desorption aus dem Bereich der Drahtaufhängung verhindert.



Scharfe Kanten 0,4 gebrochen

Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit nach DIN ISO 1302

Freiwilltoleranz DIN 7168-m-S

Nennmaßbereich in mm	0,5 bis	6 bis	30 bis	120 bis	400 bis	1000 bis	2000 bis
Abweichung für Längenmaße in mm	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
Abweichung für Geradheit und Ebenheit in mm	0,006	0,02	0,04	0,08	0,16	0,2	0,3

Auftrags-Nr.: 109601

Tag	Name
1987	Tag
gez.: 09.01.87	Mülheims
geprüft:	
Norm:	
Kst.: 883	
TD-MW/E	
Änder. Buchst.	kommt it vor
Änderungsangabe	Tag
Name	

1987 Tag Name
gez.: 09.01.87 Mülheims
geprüft:
Norm:

Kst.: 883
TD-MW/E

Änder. Buchst.

Benennung:

LN₂-Einfüllstutzen
für Kryosammler Typ V

Zeichnungs-Nr.:

321. 28 12 86.01

Ersatz Nr.:

Ersetzt durch:

Maßstab

1:1

Format

3

Fluss-Nr.:

5.2. Konstruktionsbeschreibung des LN₂-Einfüllstutzens /5/

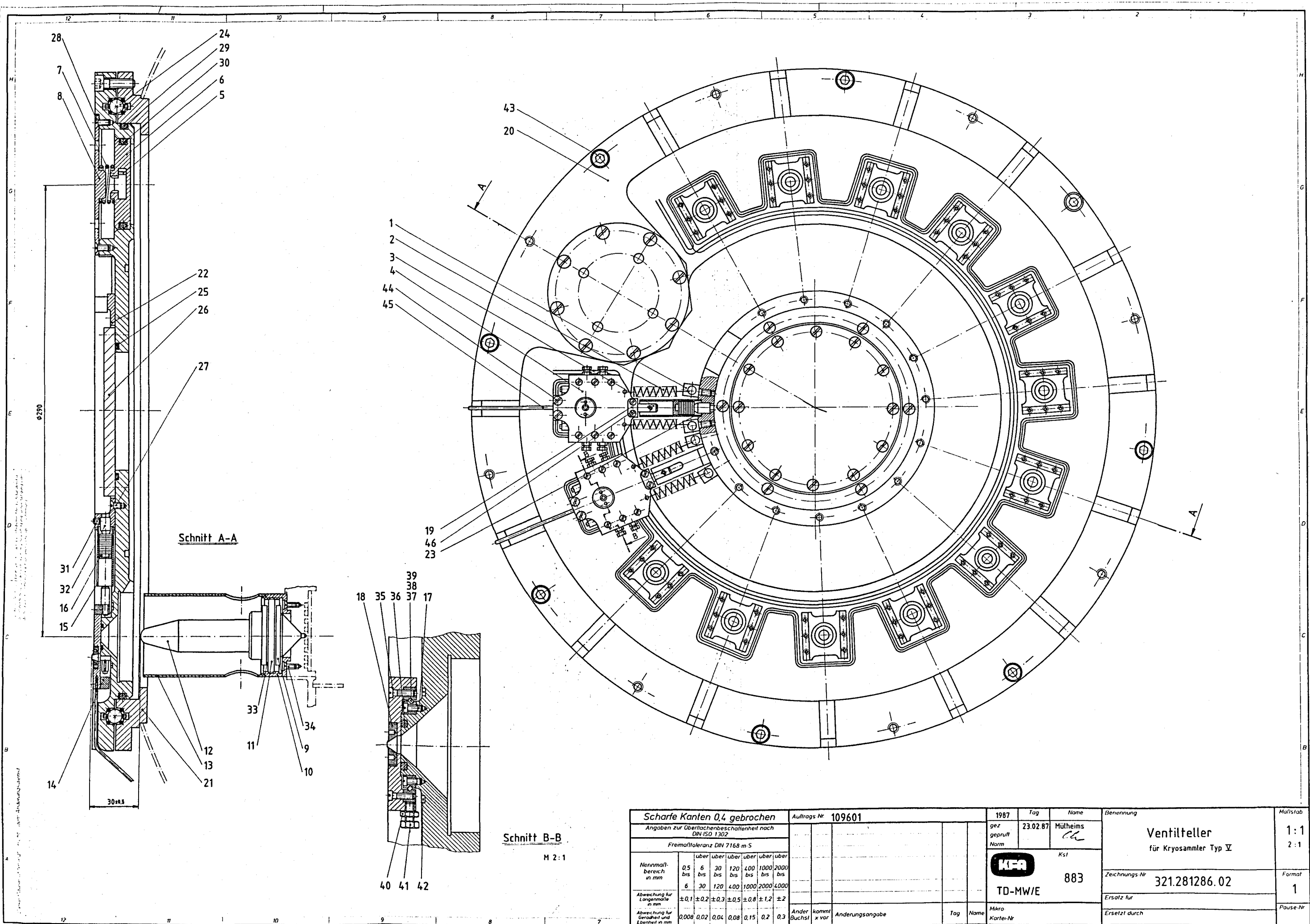
Abb.: 3 zeigt die verkleinerte Zusammenstellungszeichnung des LN₂-Einfüllstutzens.


Die im Folgenden in Klammern angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Zahlen in dieser Abbildung.

Nach Abschrauben der Schutzkappe (5) wird bei der Stickstofffüllung ein Vakuummantelheber durch den Gewindestutzen (9) in das dünnwandige Rohr (13) eingeführt. Durch Anziehen der Überwurfmutter (6) drückt der Klemmring (7) auf den O-Ring (8), so daß dieser gequetscht wird und so den eingeführten Heber abdichtet. Der flüssige Stickstoff gelangt nun vom Heber über das dünnwandige Rohr (16) in den unteren Bereich des LN₂-Tanks. Nach Beendigung des Einfüllvorganges wird der ausgeschäumte Stopfen (1, 2, 3, 4) anstelle des Hebers in das dünnwandige Rohr (13) eingesetzt, so daß hier bei kopfstehendem Sammler kein Stickstoff entweichen kann. Zusätzlich drückt die aufgeschraubte Schutzkappe auf den eingesetzten Stopfen, um das Herausfallen zu verhindern.

Der Anschweißstutzen (10) ist am unteren Ende abgeflacht, damit der innerhalb der Schutzkappe (5) und des Anschweißstutzens (10) kondensierete Wasserdampf nach außen abfließen kann.

Zur Erhöhung der Stabilität des Einfüllstutzens und zum Schutz vor Beschädigung bei der Landung wurden am Gewindestutzen (9) zwei Stützrippen (11, 12) angeschweißt, sowie eine Schutzkappe (5) aufgeschraubt. Das dünnwandige Rohr (16) wird durch einen Schutzring (14) aus Teflon vor Beschädigung bei der Landung geschützt.



Scharfe Kanten 0,4 gebrochen							Auftrags-Nr. 109601				1987	Tag	Name	Benennung		Maßstab		
Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit nach DIN ISO 1302											gez	23.02.87	Mülheims	Ventilteller für Kryosammler Typ V		1:1 2:1		
Fremdoleranz DIN 7168 m-S											geprüft		<i>CH</i>					
Freimaßtoleranz DIN 7168 m-S											Norm		Kst					
Nennmaßbereich in mm		über	über	über	über	über	über							883		Zeichnungs-Nr.	321.281286.02	Format
		0,5 bis	6 bis	30 bis	120 bis	400 bis	1000 bis											
		6	30	120	400	1000	2000	4000					TD-MW/E				1	
Abweichung für Längenmaße in mm		±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2							Ersatz für			Pause-Nr.
Abweichung für Geradenheit und Ebenheit in mm		0,008	0,02	0,04	0,08	0,15	0,2	0,3							Ersetzt durch			
							Ander Buchst		kommt x vor		Änderungsangabe				Tag	Name		

5.3. Konstruktionsbeschreibung des Ventiltellers

Abb.: 4 zeigt die verkleinerte Zusammenstellungszeichnung des Ventiltellers für den Kryosammler.

Die im Folgenden in Klammern angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Zahlen in dieser Abbildung.

Am äußeren Boden des Sammlers befindet sich die in Abb.: 4 gezeichnete Ventilplatte. Diese Platte ist auf dem am Klörperboden angeschweißten Ring (21) drehbar gelagert und mit einem Rundschnurring (30) seitlich gedichtet. Für die Lagerung wurde ein Einbauelement der Firma Franke gewählt, das geringe Einbaumaße aufweist. Bei dieser Lagerart bewegen sich die in einem Bandkäfig gehaltenen Kugeln auf gehärteten, in die Nut eingelegten Laufringen. Diese Drehbarkeit des Flansches (20) ist zum Ausbau der Probenfinger (12) erforderlich.

Während des Fluges ist der untere Flansch (20) mittels Zylinderschrauben (43) am Ring (21) fest verschraubt. Nach der Landung werden diese Schrauben entfernt, so daß der Flansch (20) drehbar wird.

Die 14 vergoldeten Probenfinger aus Kupfer (12) werden mit ihrer konisch zulaufenden Kontaktfläche durch Festziehen der Mutter (11) in die passenden Vertiefungen im Wärmetauscher gepreßt. Jeder dieser 14 Finger ist von einem vergoldeten Kupferschild (13) umgeben, das auch vom Wärmetauscher gekühlt wird. Dieses Rohr verhindert, daß bei Lufteinlaß auf einen bestimmten Finger umliegende Finger mit Probe belégt werden.

Gegenüber den 14 Probenfingern sind konische Bohrungen in den Flansch eingearbeitet. Diese Ventilöffnungen werden durch die Schieber (4) geöffnet und geschlossen. In diesen Schiebern (4) sind die Düsen (18) eingeschraubt. Die in den Flansch eingelegten O-Ringe (36) dichten im geschlossenen Zustand das Ventil und gewährleisten, daß im geöffneten Zustand die Luft nur durch die kalibrierte Düse (18) einströmen kann. Diese Düsen sind auch bei evakuiertem Sammelraum austauschbar. Geöffnet und geschlossen wird das Ventil dadurch, daß der Schieber mit der Düsenöffnung über den O-Ring fährt.

Die Längsführung (37, 38, 39), mit Zylinderrollen als Wälzkörper, ermöglichen eine präzise Führung des Schiebers. Diese sind am Flansch und am Schieber angeschraubt und können durch je zwei Sechskantschrauben (41) am Schieber spielfrei eingestellt werden. In der justierten Lage können diese Schrauben dann mittels flacher Sechskantmutter (40) arretiert werden.

Alle 14 Ventile werden vor dem Start geschlossen, indem die Schieber nach außen geschoben werden. Dies geschieht gegen die Zugkraft je zweier Zugfedern (2), wobei der Bolzen (3) als Anschlag dient. Durch einen Draht (45) wird der Schieber in dieser Lage gehalten. Dieser Haltedraht (45) wird außen am Sammler bis zum oberen Spannring geführt. An diesem Spannring befindet sich ein 2-geteilter, aufgeschraubter Haltering, auf dem 14 Seilkappvorrichtungen befestigt sind. Die Sprengkapseln dieser Seilkappvorrichtungen werden in der vorgesehenen Flughöhe über Telekommando gezündet, wodurch das Halteseil gekappt wird. Mit Hilfe der Zugfedern (2) bewegt sich der Ventilschieber (4) radial nach innen und gibt die darunterliegende Düsenöffnung frei. Das angeschraubte Blöckchen (14) dient dabei als Anschlag. Nach der Sammelzeit wird eine zweite Sprengkapsel, ein sogenanntes Squip (32), gezündet. Diese besteht aus einem geschlossenen Faltenbalg mit dem darin enthaltenen Sprengstoff, durch dessen Verbrennung ein Gasdruck von etwa 4 bar entsteht. Dieser bewirkt eine Ausdehnung des Metallbalges, wodurch der Ventilschieber entgegen der Zugfederkraft in seine Ausgangsposition zurückgeschoben wird und so die Düsenöffnung wieder abdichtet. Bei diesem Vorgang drückt das auf dem Squip (32) aufgeklebte Gleitstück (16) gegen den Bolzen (3), der gleichzeitig als Anschlag dient.

Die 14 Kraftelemente zum Schließen der Ventile sind im Haltering (22) durch Gewindestifte (31) eingeklemmt. Um ein Auswechseln der Kraftelemente zu ermöglichen, ist der Anschlagbolzen (3) im Schieber ausbaubar mittels des angeschraubten Klemmstückes (19) gehalten. Nach Ausbau dieses Bolzens und Abschrauben des Führungsrohres (15) vom Anschweißstutzen (23) kann das gebrauchte Kraftelement (32) aus dem Haltering (22) entfernt und durch ein Neues ersetzt werden.

In der angeschraubten O-Ring-gedichteten Scheibe (26) sind die Stromdurchführungen eingelötet. Durch diese Stromdurchführungen werden die Zuleitungen der Temperaturmeßwiderstände, zur Temperaturüberwachung des Matrixbildners, nach außen aus dem Sammelraum geführt.

Auf dem Teilkreis der Düsenöffnungen befindet sich zusätzlich eine Schleusenöffnung, um die kontaminationsfreie und temperaturkonstante Übernahme der Kühlfinger mit den daran kondensierten Luftproben zuverlässig zu ermöglichen. Durch den Stopfen (6) ist diese Öffnung während des Fluges verschlossen. Die Abdichtung des Stopfens (6) erfolgt über den O-Ring (30). Sollte durch Verbrauch des LN_2 -Vorrates und der daraus folgenden Erwärmung der Kryoadsorptionspumpe der Druck im Sammelraum bis auf 3 bar ansteigen, so wird die Kraft der vorgespannten Druckfeder (7) überwunden, und das Gas kann durch die Löcher des angeschraubten Deckels (8) entweichen (Sicherheitsventil).

6. Konstruktion der Drahtaufhängung

Entscheidenden Einfluß bei der Festigkeit der Spanndrähte hat die Konstruktion der Drahtenden. Aus diesem Grund wurden 2 unterschiedliche Möglichkeiten der Endenform ausgewählt und mittels Zugversuch die Form ermittelt, welche die höchste Zugfestigkeit aufwies.

1. Variante

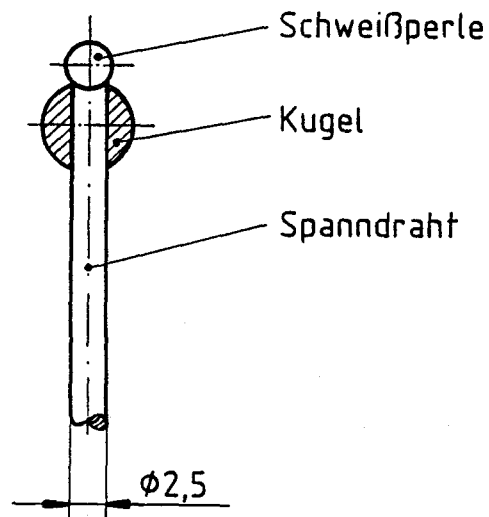


Abb.: 5

Auf den Spanndraht wurde eine Kugel von 6 mm Durchmesser, die ein Durchgangsloch besaß, aufgesteckt. Anschließend wurde an das Drahtende mittels Schweißbrenner eine Schweißperle angebracht.

2. Variante

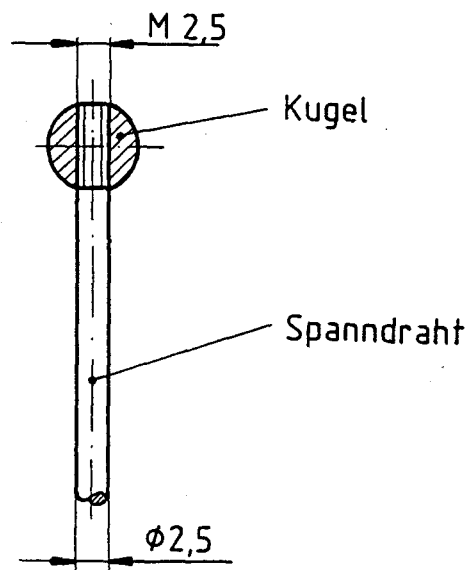


Abb.: 6

Am Drahtende sowie in der Kugel wurde ein Gewinde M 2,5 geschnitten, so daß beide Teile miteinander verschraubt werden konnten.

Nach Fertigung einer entsprechenden Einspannvorrichtung wurden 3 unterschiedliche Probentypen auf einer Werkstoff-Prüfmaschine der Firma Zwick im Institut ZAT auf Zug beansprucht.

Beim ersten Probentyp (s. Abb.: 7) handelt es sich um einen 2,5 mm dicken Draht, dessen Drahtende entsprechend der 1. Variante hergestellt war. Bedingt durch die Wärmebehandlung beim Anbringen der Schweißperle wurde die Kaltverfestigung des Federdrahtes im Bereich des Drahtendes aufgehoben. Als Folge dieser Festigkeitsverminderung wurde die Schweißperle von der Kugel abgeschert. Es konnten bei dieser Probenform nur Kräfte von etwa 3 kN im Stab aufgenommen werden.

Beim zweiten Probentyp (s. Abb.: 8) war das Drahtende nach der 2. Variante ausgebildet. Hier wurde das Drahtende nicht durch Wärmebehandlung, sondern durch das aufgebrachte Gewinde geschwächt. Bei den drei Proben dieses Types konnten Zugkräfte von etwa 6,7 kN aufgenommen werden. Bei dieser Belastung kam es, wie erwartet, zu einem spröden Bruch im Bereich der ersten Gewindegänge. Beim Vergleich der aus Tabelle entnommenen Zugfestigkeit mit der beim Zugversuch ermittelten Zugfestigkeit zeigt sich:

$$\begin{array}{l} \sigma_{zB} = 1700 \text{ bis } 1950 \text{ N/mm}^2 \longrightarrow \text{Wert nach DIN 17224 für} \\ \text{=====} \text{=====} \text{=====} \text{=====} \text{=====} \text{=====} \text{=====} \text{=====} \text{=====} \\ \text{1.4310 bei einem Durch-} \\ \text{messer von 1,5 bis 2,0 mm} \end{array}$$

Beim Zugversuch wurde bei Probentyp 2 (Drahtende nach 2. Variante) eine mittlere Zugkraft von $F = 6,7 \text{ kN}$ ermittelt. Unter Berücksichtigung des Spannungsquerschnittes des Gewindes von $A_S = 3,39 \text{ mm}^2$ ergibt sich für die Zugfestigkeit:

$$\begin{array}{l} \sigma_z = \frac{F}{A_S} \longrightarrow \sigma_z = 1976 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ \text{=====} \end{array}$$

Der aus dem Zugversuch ermittelte Wert für die Zugfestigkeit für 1.4310 entspricht ungefähr dem aus der DIN-Tabelle entnommenen Wert. Der Wert, der aus dem Zugversuch ermittelt wurde, liegt etwas höher als der Wert

aus der DIN-Tabelle, da der Stab beim Zugversuch ein Gewinde vom Kerndurchmesser 2 mm besaß, wogegen der Stab der DIN-Tabelle eine glatte Oberfläche mit einem Durchmesser von 2 mm aufwies. Diese erhöhte Zugfestigkeit beim Gewinde läßt sich durch die stützende Wirkung der Gewindegänge erklären, die das Fließen erschweren.

Der dritte Probentyp (s. Abb.: 9) war bis auf den Durchmesser identisch mit dem ersten. Hier wurde jedoch der Drahtdurchmesser auf 2 mm reduziert. Auch hier kam es entsprechend dem ersten Typ zu einer Abscherung der Schweißperle. Auf Grund des geringen Drahtdurchmessers konnte hier nur eine Kraft von etwa 2,2 kN aufgenommen werden.

Für die Konstruktion des Sammlers wurde der zweite Probentyp mit Gewindeenden gewählt, da dieser eindeutig höheren Belastungen standhielt. In der Praxis wird die Festigkeit jedoch etwas geringer sein als im Zugversuch ermittelt, da der Versuch mit einer Beanspruchungsgeschwindigkeit von $v = 10 \text{ mm/min}$ durchgeführt wurde, wogegen in der Praxis eine Stoßbelastung bis zu $10 \cdot g$ auftreten kann. Diese Belastungsart konnte mit der zur Verfügung stehenden Maschine jedoch nicht ausgeführt werden.

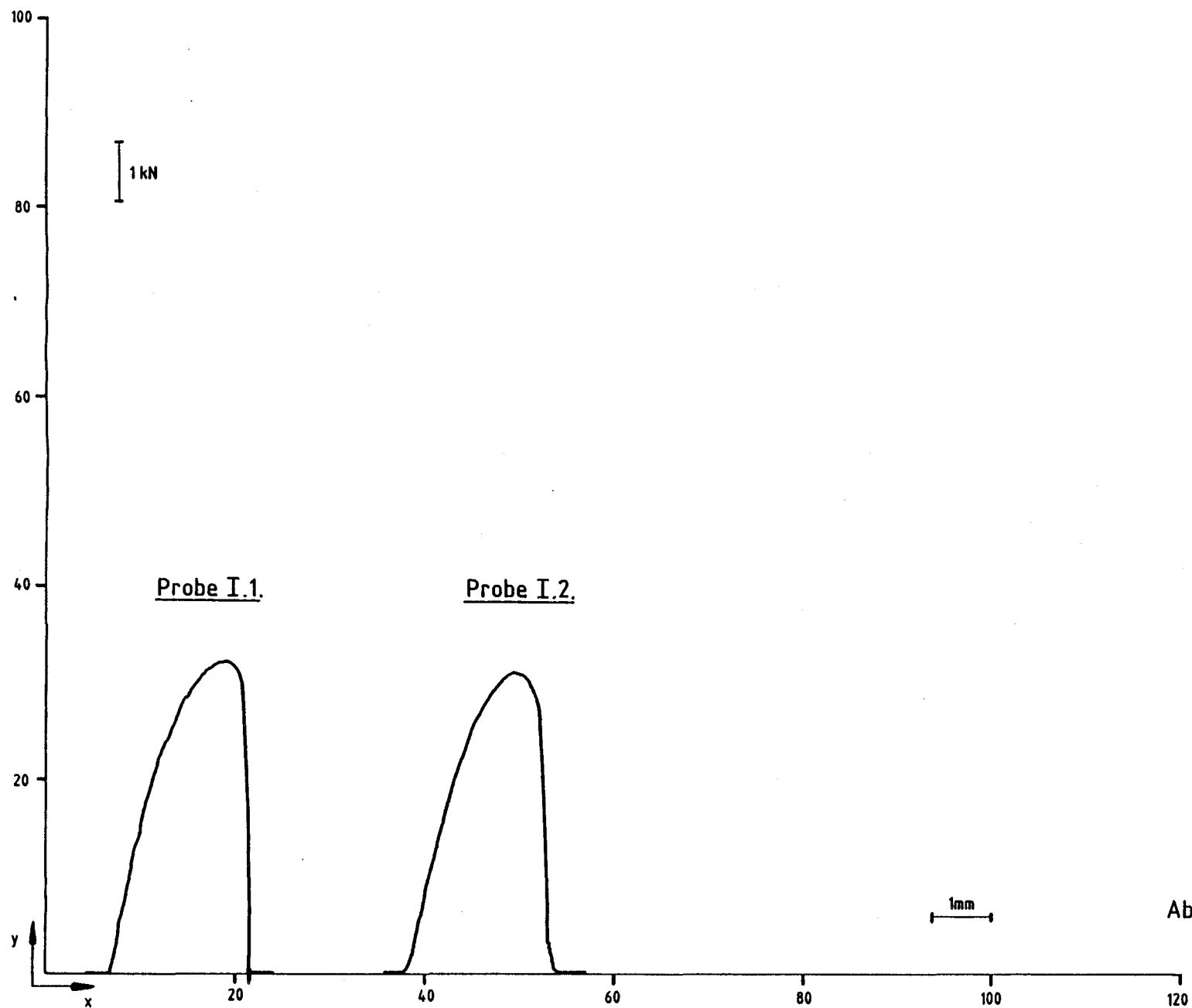


Abb.: 7

Zwick

Werkstoff-Prüfmaschinen

Versuchsbezeichnung	
<u>Zugversuch</u>	
Prüfrichtung Prüfmaschine, Typen-Nr. Zwick 1495	
Probenaufnahme	
Kraftaufnehmer	
Längenänderungsaufnehmer inkremental	
Probe	I.1. 14310
Werkstoff	I.2. 14310
Probenform (Norm)	
Breite b_0 , Durchmesser d_0	$d_0 = 2,5 \text{ mm}$
Dicke a_0	
Anfangs-Meßlänge L_0	
Freie Einspannlänge L_E	249 / 240 mm
Versuchsparameter Beanspruchungsgeschwindigkeit v 10 mm/min	
Kraftkoordinate	10 kN
Kraftmaßstab $F/10 \text{ mm}$	
Längenänderungskordinate	10:1
Längenänderungsmaßstab $L/10 \text{ mm}$	
Zeitkoordinate	
Zeitmaßstab $t/10 \text{ mm}$	
Bemerkungen	
Datum Prüfer	

Best.-Nr.: Engl. ZN 17-40
Franz. ZN 17-41

Best.-Nr.: ZN 17-39

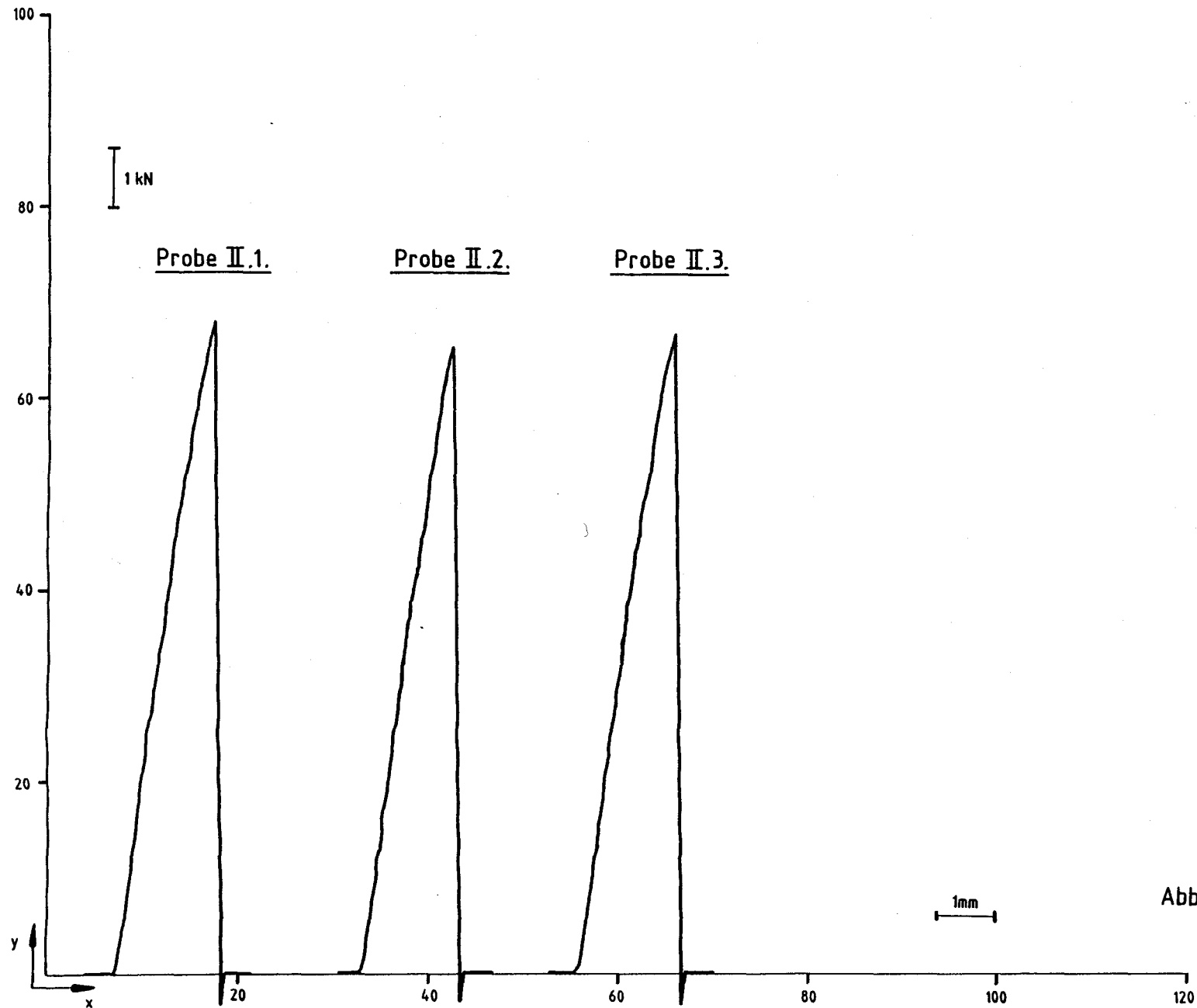


Abb.: 8

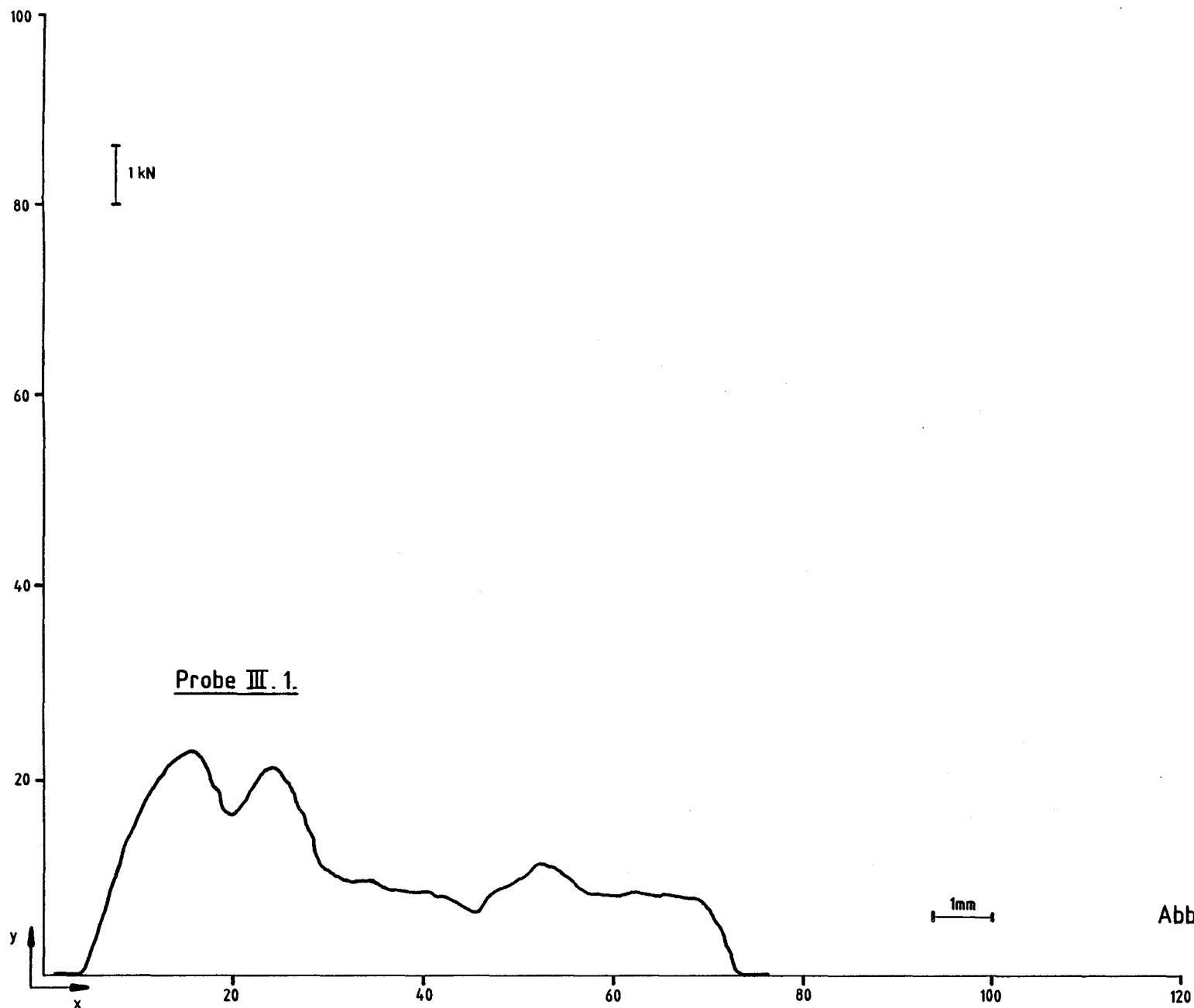
Zwick

Werkstoff-Prüfmaschinen

Versuchsbezeichnung
<u>Zugversuch</u>
Prüfeinrichtung Prüfmaschine, Typen-Nr. Zwick 1495
Probenaufnahme
Kraftaufnehmer
Längenänderungsaufnehmer inkremental
Probe Werkstoff II.1. 14310 II.2. 14310 II.3. 14310
Probenform (Norm)
Breite b_0 , Durchmesser d_0 , $d_s = 2,5 \text{ mm}$
Dicke a_0
Anfangs-Meßlänge L_0
Freie Einspannlänge $L_f = 288 / 288 / 288$
Versuchsparameter Beanspruchungsgeschwindigkeit v 10 mm/min
Kraftkoordinate 10 kN
Kraftmaßstab $F / 10 \text{ mm}$
Längenänderungskoeffizient λ 10:1
Längenänderungsmaßstab $L / 10 \text{ mm}$
Zeitkoordinate
Zeitmaßstab $t / 10 \text{ mm}$
Bemerkungen
Datum Prüfer

Best.-Nr.: Engl. ZN 17-40
Franz. ZN 17-41

Best.-Nr.: ZN 17-39



Zwick

Werkstoff-Prüfmaschinen

Versuchsbezeichnung	<u>Zugversuch</u>
Prüfeinrichtung Prüfmaschine, Typen-Nr. Zwick 1495	
Probenaufnahme	
Kraftaufnehmer	
Längenänderungsaufnehmer	inkremental
Probe Werkstoff	III.1. 14310
Probenform (Norm)	
Breite b_0 , Durchmesser d_0	$d_0 = 2 \text{ mm}$
Dicke a_0	
Anfangs-Meßlänge L_0	
Freie Einspannlänge L_E	272 mm
Versuchsparameter Beanspruchungsgeschwindigkeit v	10 mm/min
Kraftkoordinate	10 kN
Kraftmaßstab $F/10 \text{ mm}$	
Längenänderungskordinate	10:1
Längenänderungsmaßstab $L/10 \text{ mm}$	
Zeitkoordinate	
Zeitmaßstab $t/10 \text{ min}$	
Bemerkungen	
Datum Prüfer	

Abb.: 9

Best.-Nr.: Engl. ZN 17-40
Franz. ZN 17-41

Best.-Nr.: ZN 17-39

7. Luftprobenentnahme und Transport zum Labor /2/5/

Die Kühlkapazität des Kryosammlers ist so bemessen, daß die Kühlfunktion nach der Landung noch einige Stunden gewährleistet ist. Liegen längere Transportwege vor, oder sollen mehr Proben gesammelt werden, als mit einem Flug möglich, dann werden die mit Luftproben belegten Kühlfinger temperaturkonstant und kontaminationsfrei ausgeschleust, im Transportkryostaten aufbewahrt und zum Meßkryostat ins Labor gebracht.

Für das Ein- und Ausschleusen der Proben sind eine ungekühlte und eine gekühlte Schleuse erforderlich. Die erste wird dazu benötigt, den nach Entfernen eines Schutzdeckels freiliegenden Stopfen des Ventiltellers unter Vakuum zu entfernen. Dazu ist die Anbringung eines Adapters und eines Zwischenstückes an den Kryosammlerflansch notwendig. Zum Ein- und Ausbau der Kühlfinger wird auf das Zwischenstück die gekühlte Schleuse montiert. Nach Evakuieren des Schleusenrohres, des Adapters und des Zwischenstückes sowie Abkühlung des Probenhalters können zwei Schieberventile geöffnet und der Kühlfinger ausgeschraubt werden. Dabei wird ein Probenhalter von außen über den Kühlfinger geschoben. Zwei Stifte rasten dann in dafür vorgesehene Schlitze der drehbaren Mutter des Kühlfingers ein. Durch Drehung und Zug einer Spindel wird der Kühlfinger aus dem Abschirmrohr geschraubt und in das Schleusenrohr gezogen. Nach Schließen der Schieberventile kann die Schleuse abgenommen und am Transportkryostaten befestigt werden. In umgekehrter Reihenfolge wird der Probenfinger an den Wärmetauscher des Transportkryostaten angeschraubt. Die übrigen Kühlfinger im Sammler sind durch Drehen der Ventilplatte erreichbar. Im Labor werden die Probenfinger in ähnlicher Weise aus dem Transportkryostaten entnommen, um dann in den Meßkryostaten des ESR-Spektrometers zur Untersuchung eingeschleust zu werden.

8. Berechnung des Kryosammlers

8.1. Festigkeitsberechnung

8.1.1. Festigkeitsberechnung nach AD-Merkblättern /3/

Formelzeichen und Einheiten:

d_i	→ Innendurchmesser des Ausschnittes	→ mm
l	→ Beullänge, oder Abstand zwischen zwei wirksamen Versteifungen bei Zylindermänteln	→ mm
s	→ erforderliche Wanddicke	→ mm
s_e	→ ausgeführte Wanddicke	→ mm
D_a	→ Außendurchmesser	→ mm
E	→ Elastizitätsmodul	→ N/mm^2
K	→ Festigkeitskennwert	→ N/mm^2
p	→ Berechnungsdruck	→ bar
p_B	→ Beuldruck	→ bar
R	→ Radius der Kugelkalotte bei Klöpperböden und Korbbogenböden	→ mm
S	→ Sicherheitsbeiwert	—
S_K	→ Sicherheitsbeiwert gegen elastisches Einbeulen	—
β	→ Berechnungsbeiwert	—

8.1.1.1. Berechnung des Außenmantels

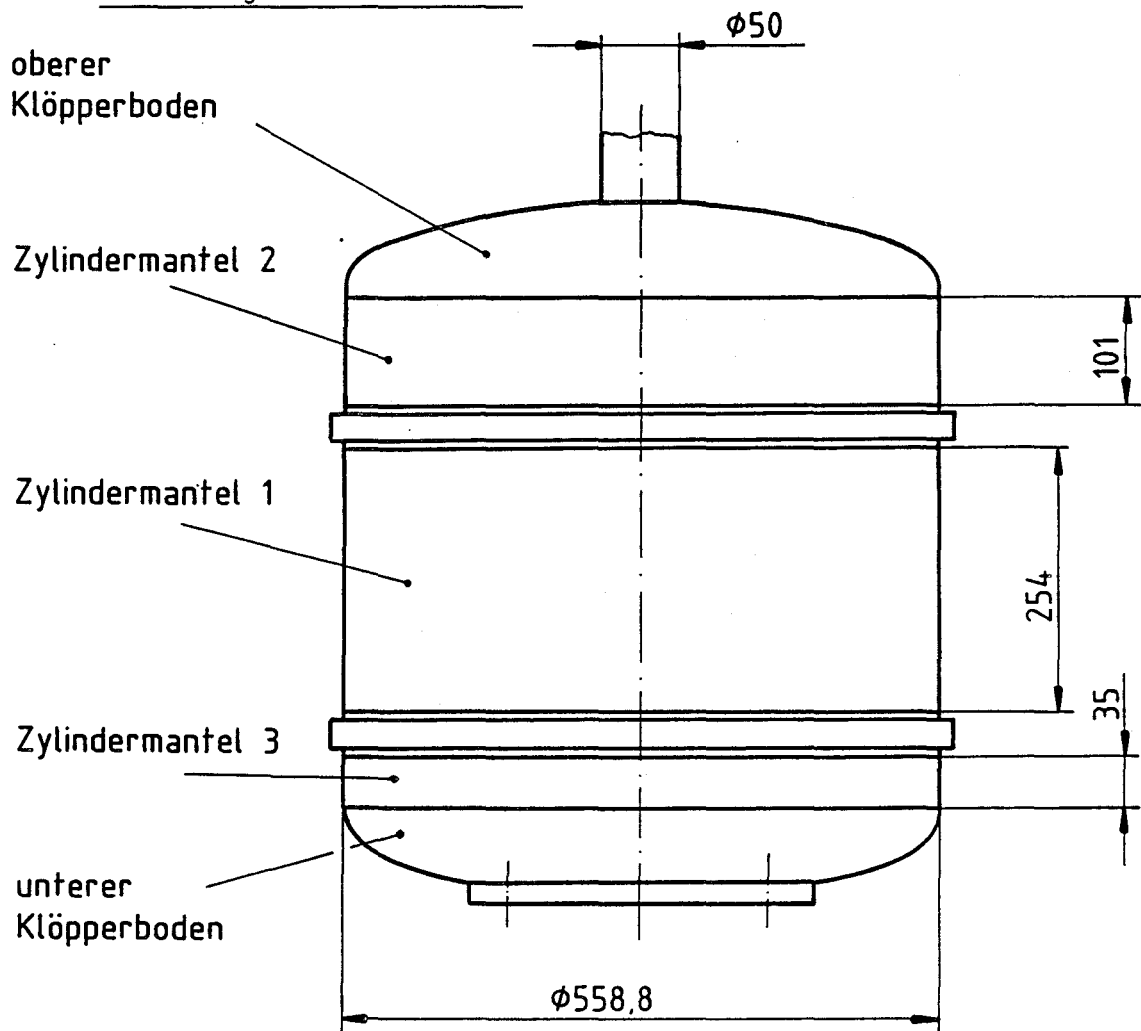


Abb.: 10

- Belastungsfälle:
- I.) $p_I = 1$ bar äußerer Überdruck bei evakuiertem Zwischenraum
 - II.) $p_{II} = 3$ bar innerer Überdruck bei Leck im Bereich des Membranbalges und Erwärmung und Desorption von Gas an der Kryoadsorptionspumpe

Die Berechnung wurde nur für den oberen Klöpperboden und die Zylindermäntel durchgeführt. Am unteren Klöpperboden kann der eingeschweißte Ventilteller wegen seiner stabilen Ausführung nicht als Verschwächung angesehen werden. Für den unteren Klöpperboden kann daher die ausgeführte Wandstärke des oberen Klöpperbodens mit genügender Sicherheit übernommen werden.

8.1.1.1.1. Berechnung des oberen Klöpperbodens

Nach AD-Merkblatt B1, B3 und B9

$$d_i = 50 \text{ mm}$$

$$s_e = 2 \text{ mm}$$

$$D_a = 558,8 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$K = 225 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 1\% \text{-Dehngrenze nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$R = 558,8 \text{ mm}$$

$$S = 1,8$$

$$S_K = 4$$

$$\beta = 4 \rightarrow \text{aus AD-Merkblatt B3 in Abhängigkeit von } \frac{d_i}{D_a} \text{ und } \frac{s_e}{D_a}$$

Belastungsfall I

$$p_I = 1 \text{ bar äußerer Überdruck}$$

Wandstärke des Kalottenteils

$$s = \frac{D_a \cdot p_I}{40 \cdot \frac{K}{S} + p_I} \rightarrow s = 0,11 \text{ mm}$$

=====

Wandstärke der Krempe

$$s = \frac{D_a \cdot p_I \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S}} \rightarrow s = 0,45 \text{ mm}$$

=====

Überprüfung, ob bei äußerem Überdruck die Kugelkalotte gegen elastisches Einbeulen sicher ist.

$$p_I \leq 3,66 \cdot \frac{E}{S_K} \cdot \left(\frac{s_e}{R} \right)^2$$

$$p_I \leq 2,3 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} < 2,3 \text{ bar}$$

=====

Belastungsfall II

$p_{II} = 3 \text{ bar}$ innerer Überdruck

Wandstärke des Kalottenteils

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II}}{40 \cdot \frac{K}{S} + p_{II}} \rightarrow s = 0,36 \text{ mm}$$

=====

Wandstärke der Krempe

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II} \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S}} \rightarrow s = 1,34 \text{ mm}$$

=====

Überprüfung, ob bei innerem Überdruck der Krempenbereich gegen elastisches Einbeulen sicher ist

$$\frac{s_e}{D_a} = 0,0036$$

nach Bild 5 aus AD-Merkblatt B3 ergibt sich für den Beuldruck:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 8 \rightarrow p_B = 16 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1,5 \cdot p_{II}$$

$$16 \text{ bar} > 4,5 \text{ bar}$$

=====

Der obere und der untere Klöpperboden ist mit der ausgeführten Wandstärke von $s_e = 2 \text{ mm}$ ausreichend bemessen.

8.1.1.1.2. Berechnung des Zylindermantels 1

Nach AD-Merkblatt B1 und B6

$$l = 254 \text{ mm}$$

$$s_e = 2 \text{ mm}$$

$$D_a = 558,8 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$K = 225 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 1 \text{ \%-Dehngrenze nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$S = 1,6$$

$$S_K = 3$$

$$\frac{D_a}{l} = 2,2$$

Belastungsfall I

$$p_I = 1 \text{ bar äußerer Überdruck}$$

Berechnung gegen elastisches Einbeulen

$$x = \frac{p_I \cdot S_K \cdot 10^5}{E} \rightarrow \underline{x = 1,5}$$

y aus Bild 6 in AD-Merkblatt B6 in Abhängigkeit von $\frac{D_a}{l}$

$$\frac{D_a}{l} = 2,2 \rightarrow \underline{y = 4,5}$$

$$s = \frac{D_a}{y \cdot 10^2} \rightarrow \underline{s = 1,2 \text{ mm}}$$

Berechnung gegen plastisches Verformen

$$x = \frac{p_I \cdot S \cdot 10}{K} \rightarrow \underline{x = 0,07}$$

y aus Bild 7 in AD-Merkblatt B6 in Abhängigkeit von $\frac{D_a}{l}$

$$\frac{D_a}{l} = 2,2 \rightarrow y = 4,3$$
$$s = \frac{D_a}{y \cdot 10^2} \rightarrow s = 1,3 \text{ mm}$$

=====

Belastungsfall II

$p_{II} = 3 \text{ bar}$ innerer Überdruck

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II}}{20 \cdot \frac{K}{S} + p_{II}} \rightarrow s = 0,6 \text{ mm}$$

=====

Der Zylindermantel 1 ist mit der ausgeführten Wandstärke von $s_e = 2 \text{ mm}$ ausreichend bemessen.

Für Zylindermantel 2 und Zylindermantel 3 wurde keine eigene Berechnung gemacht, da diese sich vom Zylindermantel 1 nur durch ihre Länge unterscheiden. Da diese Längen kürzer sind als beim Zylindermantel 1, wird der Wert von $\frac{D_a}{l}$ größer, damit der y-Wert auch größer und daraus folgend wird die erforderliche Wandstärke geringer. Somit kann für alle 3 Zylindermäntel die Wandstärke mit $s_e = 2 \text{ mm}$ bemessen werden.

8.1.1.2. Berechnung des LN₂-Tanks

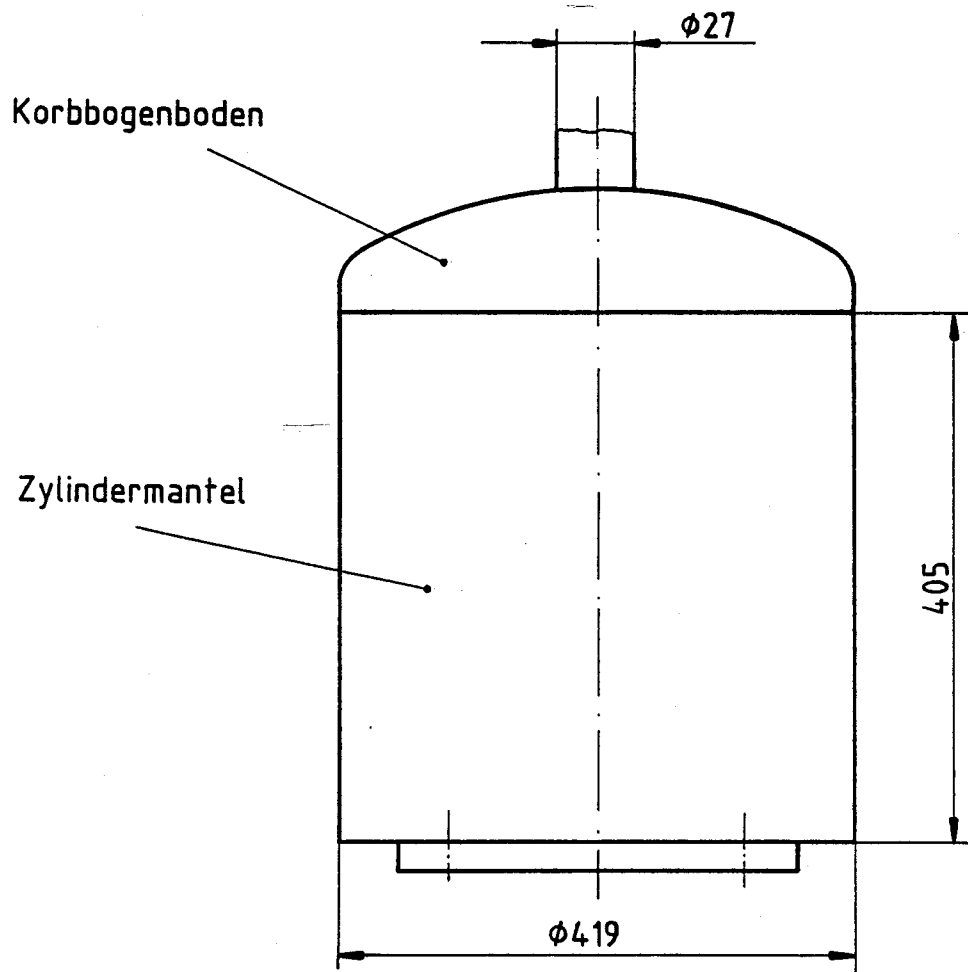


Abb.: 11

- Belastungsfälle:
- I.) $p_I = 3$ bar äußerer Überdruck bei Leck im Bereich des Membranbalges und Erwärmung und Desorption von Gas an der Kryoadsorptionspumpe
 - II.) $p_{II} = 3$ bar innerer Überdruck bei verstopfter Abgasleitung und dadurch bedingter Druckerhöhung im LN₂-Tank

8.1.1.2.1. Berechnung des Korbbogenbodens

Nach AD-Merkblatt B1, B3 und B9

$$d_i = 27 \text{ mm}$$

$$s_e = 2 \text{ mm}$$

$$D_a = 419 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$K = 225 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 1 \% \text{-Dehngrenze nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$R = 335,2 \text{ mm}$$

$$S = 1,8$$

$$S_K = 3,7$$

$$\beta = 2,5 \rightarrow \text{aus AD-Merkblatt B3 in Abhängigkeit von } \frac{d_i}{D_a} \text{ und } \frac{s_e}{D_a}$$

Belastungsfall I

$$p_I = 3 \text{ bar äußerer Überdruck}$$

Wandstärke des Kalottenteils

$$s = \frac{D_a \cdot p_I}{40 \cdot \frac{K}{S} + p_I} \rightarrow s = 0,25 \text{ mm}$$

=====

Wandstärke der Krempe

$$s = \frac{D_a \cdot p_I \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S}} \rightarrow s = 0,63 \text{ mm}$$

=====

Überprüfung, ob bei äußerem Überdruck die Kugelkalotte gegen elastisches Einbeulen sicher ist.

$$p_I \leq 3,66 \cdot \frac{E}{S_K} \cdot \left(\frac{s_e}{R} \right)^2$$

$$p_I \leq 7,04 \text{ bar}$$

$$3 \text{ bar} < 7,04 \text{ bar}$$

=====

Belastungsfall II

$p_{II} = 3 \text{ bar}$ innerer Überdruck

Wandstärke des Kalottenteils

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II}}{40 \cdot \frac{K}{S} + p_{II}} \rightarrow s = 0,25 \text{ mm}$$

=====

Wandstärke der Krempe

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II} \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S}} \rightarrow s = 0,63 \text{ mm}$$

=====

Überprüfung, ob bei innerem Überdruck der Krempenbereich gegen elastisches Einbeulen sicher ist.

$$\frac{s_e}{D_a} = 0,0048$$

nach Bild 5 aus AD-Merkblatt B3 ergibt sich für den Beuldruck:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 8 \rightarrow p_B = 16 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1,5 \cdot p_{II}$$
$$16 \text{ bar} > 4,5 \text{ bar}$$

=====

Der Korbbogenboden des LN_2 -Tanks ist mit der ausgeführten Wandstärke von $s_e = 2 \text{ mm}$ ausreichend bemessen.

8.1.1.2.2. Berechnung des Zylindermantels

Nach AD-Merkblatt B1 und B6

$$l = 405 \text{ mm}$$

$$s_e = 2 \text{ mm}$$

$$D_a = 419 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$K = 225 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 1 \text{ \% -Dehngrenze nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$S = 1,6$$

$$S_K = 3$$

$$\frac{D_a}{l} = 1,04$$

$$1$$

Belastungsfall I

$p_I = 3 \text{ bar}$ äußerer Überdruck

Berechnung gegen elastisches Einbeulen

$$x = \frac{p_I \cdot S_K \cdot 10^5}{E} \rightarrow \underline{x = 4,5}$$

y aus Bild 6 im AD-Merkblatt B6 in Abhängigkeit von $\frac{D_a}{l}$

$$\frac{D_a}{l} = 1,04 \rightarrow \underline{y = 2,2}$$

$$s = \frac{D_a}{y \cdot 10^2} \rightarrow \underline{s = 1,9 \text{ mm}}$$

=====

Berechnung gegen plastisches Verformen

$$x = \frac{p_I \cdot S \cdot 10}{K} \rightarrow \underline{x = 0,213}$$

y aus Bild 7 im AD-Merkblatt B6 in Abhängigkeit von $\frac{D_a}{l}$

$$\frac{D_a}{l} = 1,04 \rightarrow \underline{y = 2,2}$$

$$s = \frac{D_a}{y \cdot 10^2} \rightarrow \underline{s = 1,9 \text{ mm}}$$

=====

Belastungsfall II

$p_{II} = 3$ bar innerer Überdruck

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II}}{20 \cdot \frac{K}{S} + p_{II}} \longrightarrow s = \underline{\underline{0,45 \text{ mm}}}$$

Der Zylindermantel ist mit der ausgeführten Wandstärke von $s_e = 2$ mm ausreichend bemessen.

8.1.1.3. Berechnung der Zeolithpumpe

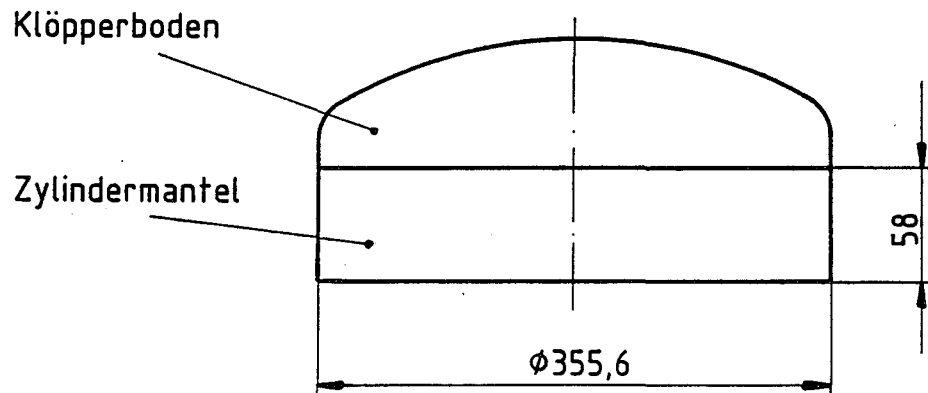


Abb.: 12

Belastungsfälle: I.) $p_I = 3$ bar äußerer Überdruck bei verstopfter Abgasleitung und dadurch bedingter Druckerhöhung im LN_2 -Tank

II.) $p_{II} = 3$ bar innerer Überdruck durch Erwärmung und Desorption von Gas in der Kryoadsorptionspumpe

8.1.1.3.1. Berechnung des Klörperbodens

Nach AD-Merkblatt B1, B3 und B9

$$s_e = 2 \text{ mm}$$

$$D_a = 355,6 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$K = 225 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 1\% \text{-Dehngrenze nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$R = 355,6 \text{ mm}$$

$$S = 1,8$$

$$S_K = 3,7$$

$$\beta = 1$$

Belastungsfall I

$p_I = 3 \text{ bar}$ äußerer Überdruck

Wandstärke des Kalottenteils

$$s = \frac{D_a \cdot p_I}{40 \cdot \frac{K}{S} + p_I} \rightarrow s = 0,21 \text{ mm}$$

=====

Wandstärke der Krempe

$$s = \frac{D_a \cdot p_I \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S}} \rightarrow s = 0,21 \text{ mm}$$

=====

Überprüfung, ob bei äußerem Überdruck die Kugelkalotte gegen elastisches Einbeulen sicher ist.

$$p_I \leq 3,66 \cdot \frac{E}{S_K} \cdot \left(\frac{s_e}{R} \right)^2$$

$$p_I \leq 6,3 \text{ bar}$$

$$3 \text{ bar} < 6,3 \text{ bar}$$

=====

Belastungsfall II

$p_{II} = 3 \text{ bar}$ innerer Überdruck

Wandstärke des Kalottenteils

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II}}{40 \cdot \frac{K}{S} + p_{II}} \rightarrow s = 0,21 \text{ mm}$$

=====

Wandstärke der Krempe

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II} \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S}} \rightarrow s = 0,21 \text{ mm}$$

=====

Überprüfung, ob bei innerem Überdruck der Krepfenbereich gegen elastisches Einbeulen sicher ist.

$$\frac{s_e}{D_a} = 0,0056$$

nach Bild 5 aus AD-Merkblatt B3 ergibt sich für den Beuldruck:

$$\frac{p_B}{E} \cdot 10^5 = 8 \longrightarrow p_B = 16 \text{ bar}$$

$$p_B \geq 1,5 p_{II}$$

$$\underline{\underline{16 \text{ bar} > 4,5 \text{ bar}}}$$

Der Klöpperboden ist mit der ausgeführten Wandstärke von $s_e = 2 \text{ mm}$ ausreichend bemessen.

8.1.1.3.2. Berechnung des Zylindermantels

Nach AD-Merkblatt B1 und B6

$$l = 58 \text{ mm}$$

$$s_e = 2 \text{ mm}$$

$$D_a = 355,6 \text{ mm}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \longrightarrow \text{nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$K = 225 \text{ N/mm}^2 \longrightarrow 1 \text{ \%-Dehngrenze nach DIN 17440 für 1.4541}$$

$$S = 1,6$$

$$S_K = 3$$

$$\frac{D_a}{l} = 6,13$$

Belastungsfall I

$$p_I = 3 \text{ bar äußerer Überdruck}$$

Berechnung gegen elastisches Einbeulen

$$x = \frac{p_I \cdot S_K \cdot 10^5}{E} \rightarrow \underline{x = 4,5}$$

y aus Bild 6 in AD-Merkblatt B6 in Abhängigkeit von $\frac{D_a}{l}$

$$\frac{D_a}{l} = 6,13 \rightarrow \underline{y = 4}$$

$$s = \frac{D_a}{y \cdot 10^2} \rightarrow \underline{s = 0,9 \text{ mm}}$$

Berechnung gegen plastisches Verformen

$$x = \frac{p_I \cdot S \cdot 10}{K} \rightarrow \underline{x = 0,213}$$

y aus Bild 7 in AD-Merkblatt B6 in Abhängigkeit von $\frac{D_a}{l}$

$$\frac{D_a}{l} = 6,13 \rightarrow \underline{y = 10}$$

$$s = \frac{D_a}{y \cdot 10^2} \rightarrow \underline{s = 0,36 \text{ mm}}$$

Belastungsfall II

$p_{II} = 3 \text{ bar}$ innerer Überdruck

$$s = \frac{D_a \cdot p_{II}}{20 \cdot \frac{K}{S} + p_{II}} \rightarrow \underline{s = 0,38 \text{ mm}}$$

Der Zylindermantel der Zeolithpumpe ist mit der ausgeführten Wandstärke von $s_e = 2 \text{ mm}$ ausreichend bemessen.

8.1.2. Festigkeitsberechnung der Spanndrähte /5/9/

8.1.2.1. Berechnung der senkrechten Verspannung

-bei senkrechtem Aufschlag

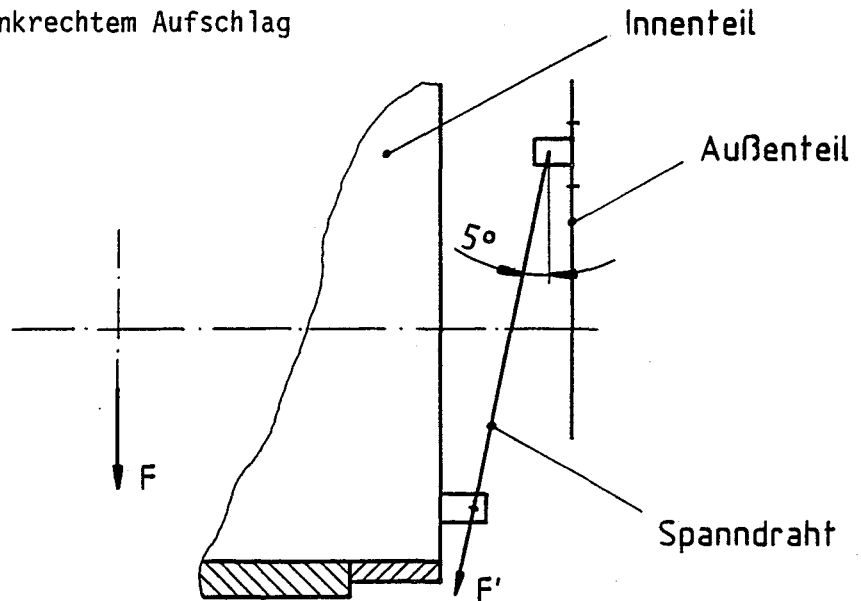


Abb.: 13

- $d_3 = 2 \text{ mm}$ → Kerndurchmesser der Gewindeenden der Spanndrähte
 $l = 274 \text{ mm}$ → Länge der Spanndrähte
 $N = 12$ → Anzahl der Spanndrähte
 $\alpha = 5^\circ$ → Anstellwinkel
 $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ → Elastizitätsmodul für 1.4310 nach DIN 17440
 $\sigma_{zB} = 1800 \text{ N/mm}^2$ → gewährleistete Zugfestigkeit für 1.4310 nach DIN 17224

Kernquerschnitt der Spanndrähte

$$A_3 = \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow A_3 = 3,14 \text{ mm}^2$$

=====

Gewichtskraft des Innenteils

- $m = 100 \text{ kg}$ → Masse
 $a = 10 \cdot g$ → Maximale Beschleunigung bei der Landung
 $F = 10\,000 \text{ N}$ → Gesamtkraft

Zugkraft im Spanndraht

$$F' = \frac{F}{N \cdot \cos \alpha} \rightarrow F' = 836,5 \text{ N}$$

=====

vorhandene Zugspannung

$$\sigma_z = \frac{F'}{A_3} \rightarrow \sigma_z = 266,4 \text{ N/mm}^2$$

=====

Bei der Montage des Innenteils haben die Spanndrähte eine Vorspannung erhalten. Ein Anzugsmoment von 0,1 Nm an der Spannvorrichtung der Drähte hat eine Zugkraft von 200 N und somit eine zusätzliche Zugspannung von $\sigma_{z_v} = 63,7 \text{ N/mm}^2$ zur Folge.

Für den Spanndraht der senkrechten Verspannung ergibt sich eine gesamte Zugbeanspruchung von:

$$\sigma_{z_{\text{ges}}} = 330 \text{ N/mm}^2$$

=====

Berechnung der Sicherheit gegen Bruch

$$S_B = \frac{\sigma_{z_B}}{\sigma_{z_{\text{ges}}}} \rightarrow S_B = 5,5$$

=====

elastische Längenänderung der Spanndrähte beim Aufschlag

$$\Delta l = \frac{\sigma_{z_{\text{ges}}} \cdot l}{E} \rightarrow \Delta l = 0,45 \text{ mm}$$

=====

Daraus ergibt sich ein elastischer Versatz x des Innenteils beim senkrechten Aufschlag des Sammlers von

$$x = \Delta l \cdot \cos \alpha$$
$$x = 0,45 \text{ mm}$$

=====

8.1.2.2. Berechnung der tangentialen Verspannung

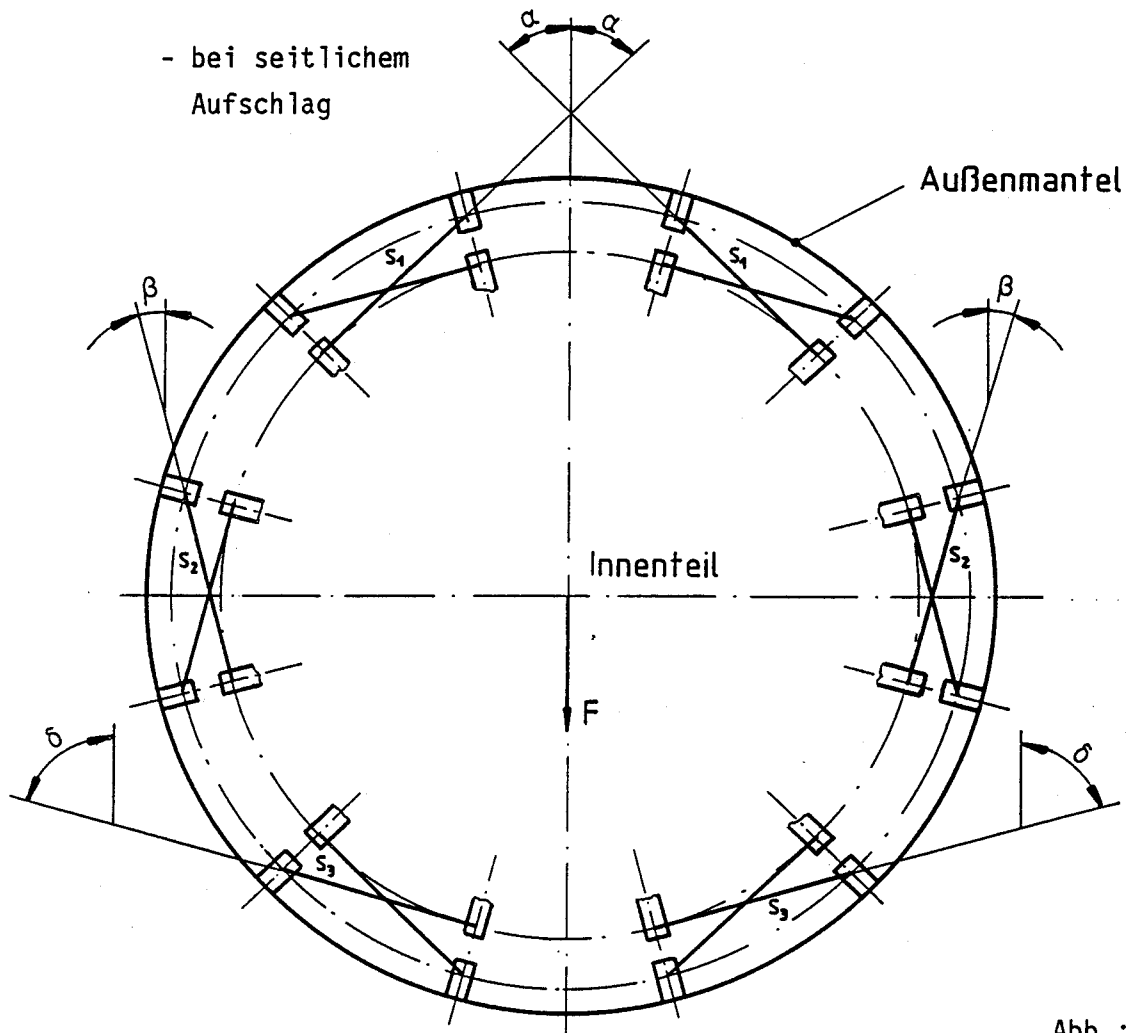
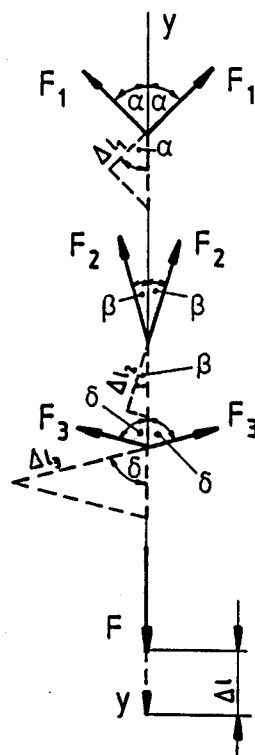


Abb.: 14



Vereinfachte Darstellung
der Kräfte durch Verschie-
bung auf ihren Wirkungslin-
ien

Abb.: 15

$d_3 = 2 \text{ mm}$	→ Kerndurchmesser der Gewindeenden der Spanndrähte
$l = 150 \text{ mm}$	→ Länge der Spanndrähte
$N_1 = 4$ $N_2 = 4$ $N_3 = 4$	$N = 4$ → Anzahl der belasteten Spanndrähte
$\alpha = 45^\circ$	
$\beta = 15^\circ$	
$\delta = 75^\circ$	
$E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$	→ Elastizitätsmodul für 1.4310 nach DIN 17440
$\sigma_{zB} = 1800 \text{ N/mm}^2$	→ gewährleistete Zugfestigkeit für 1.4310 nach DIN 17224

Kernquerschnitt der Spanndrähte

$$A_3 = \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow A_3 = 3,14 \text{ mm}^2$$

=====

Gewichtskraft des Innenteils

$m = 100 \text{ kg}$	→ Masse
$a = 5 \cdot g$	→ maximale Beschleunigung bei der Landung
$F = 5\,000 \text{ N}$	→ Gesamtkraft

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F = N \cdot F_{1y} + N \cdot F_{2y} + N \cdot F_{3y}$$

$$F = N (F_1 \cdot \cos \alpha + F_2 \cdot \cos \beta + F_3 \cdot \cos \delta) \quad (1)$$

es gilt:

$$\begin{aligned}\Delta l_1 &= \Delta l \cdot \cos \alpha \\ \Delta l_2 &= \Delta l \cdot \cos \beta \\ \Delta l_3 &= \Delta l \cdot \cos \delta\end{aligned}$$

mit $\Delta l = \frac{\sigma_z \cdot l}{E}$ ergibt sich durch Einsetzen

$$\sigma_{z1} = \frac{\Delta l \cdot \cos \alpha \cdot E}{l} \quad (2)$$

$$\sigma_{z_2} = \frac{\Delta l \cdot \cos \beta \cdot E}{1} \quad (2)$$

$$\sigma_{z_3} = \frac{\Delta l \cdot \cos \delta \cdot E}{1} \quad (2)$$

Setzt man die Gleichungen (2) unter Berücksichtigung von $\sigma = \frac{F}{A_3}$ in die Gleichung (1) ein, so erhält man nach Umstellung:

$$F = \frac{N \cdot \Delta l \cdot E \cdot A_3}{1} (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \delta)$$

Umgestellt nach Δl ergibt sich:

$$\Delta l = \frac{F \cdot 1}{N \cdot E \cdot A_3} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \delta}$$

$$\Delta l = 0,2 \text{ mm}$$

=====

Daraus ergibt sich ein elastischer Versatz des Innenteils beim seitlichen Aufschlag des Sammlers von $\Delta l = 0,2 \text{ mm}$

Durch Einsetzen von Δl in die Gleichung (2) kann die Zugspannung in den Spanndrähten ermittelt werden.

$$\sigma_{z_1} = \frac{\Delta l \cdot E}{1} \cdot \cos \alpha \rightarrow \sigma_{z_1} = 189 \text{ N/mm}^2$$

=====

$$\sigma_{z_2} = \frac{\Delta l \cdot E}{1} \cdot \cos \beta \rightarrow \sigma_{z_2} = 258 \text{ N/mm}^2$$

=====

$$\sigma_{z_3} = \frac{\Delta l \cdot E}{1} \cdot \cos \delta \rightarrow \sigma_{z_3} = 69 \text{ N/mm}^2$$

=====

Bei der Montage des Innenteils haben die Spanndrähte eine Vorspannung erhalten. Ein Anzugsmoment von 0,1 Nm an der Spannvorrichtung der Drähte hat eine Zugkraft von 200 N und somit eine zusätzliche Zugspannung von $\sigma_{z_v} = 63,7 \text{ N/mm}^2$ zur Folge.

Für den Spanndraht S_2 , der die stärkste Beanspruchung erfährt, ergibt sich demnach eine gesamte Zugbeanspruchung von:

$$\sigma_{z_{2 \text{ ges}}} = \sigma_{z \text{ max}} = 322 \text{ N/mm}^2$$

=====

Berechnung der Sicherheit gegen Bruch

$$S_B = \frac{\sigma_{z_B}}{\sigma_{z_{\text{max}}}} \rightarrow S_B = 5,6$$

=====

8.1.3. Festigkeitsberechnung der Schweißnähte am Außenmantel /5/8/

8.1.3.1. Verbindungsnaht zwischen Ventilteller und Klöpperboden

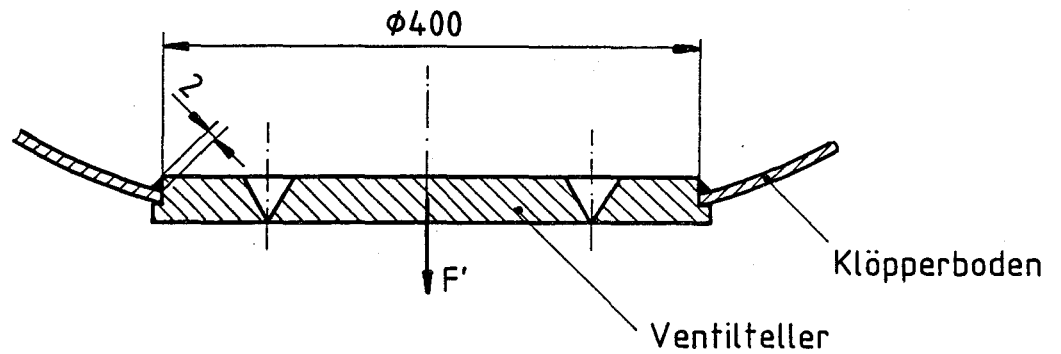


Abb.: 16

$D = 400 \text{ mm}$ → Durchmesser des Ventiltellers

$a = 2 \text{ mm}$ → Stärke der Schweißnaht

Bestimmung der angreifenden Kraft:

Masse des Ventiltellers mit
angeschraubtem Wasserbehälter → $m = 30 \text{ kg}$

maximale Beschleunigung bei der
Landung → $a' = 10 \cdot g$

$$F = m \cdot a' \rightarrow F = 3000 \text{ N}$$

unter Berücksichtigung des
Stoßfaktors → $\varphi = 2$

$$\text{angreifende Kraft } F' = F \cdot \varphi \rightarrow F' = 6000 \text{ N}$$

=====

Auftretende Spannung: Schubspannung bei senkrechter Landung des Sammlers.

vorhandene Spannung:

$$\tau_{smSchw} = \frac{F'}{A_{Schw}} \quad \begin{array}{l} A_{Schw} = \text{Schweißnahtquerschnitt} \\ A_{Schw} = D \cdot \pi \cdot a \end{array}$$

$$\tau_{smSchw} = \frac{F'}{D \cdot \pi \cdot a} \quad \rightarrow \quad \tau_{smSchw} = 2,4 \text{ N/mm}^2$$

zulässige Spannung:

$$\tau_{SchwZu1} = V \cdot \tau_{Zu1}$$

Schweißfaktor: $V = 0,32$

zulässige Schubspannung nach

$$\tau_{SchwZu1} = 43,2 \text{ N/mm}^2$$

DIN 18800 für Kehlnähte: $\tau_{Zu1} = 135 \text{ N/mm}^2$

$$\tau_{smSchw} \leq \tau_{SchwZu1}$$

$$2,4 \text{ N/mm}^2 < 43,2 \text{ N/mm}^2$$

vorhandene Sicherheit:

$$S = \frac{\tau_{SchwZu1}}{\tau_{smSchw}} \quad \rightarrow \quad S = 18$$

8.1.3.2. Verbindungsnaht zwischen Klöpperboden und Spannring

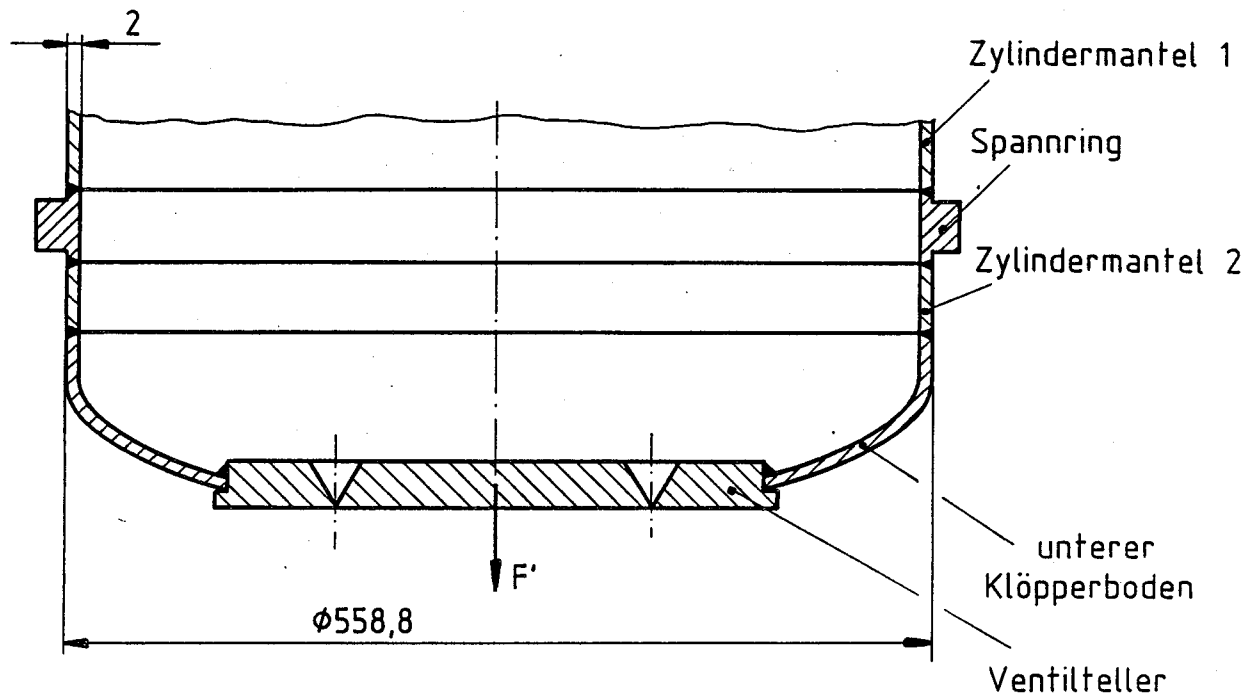


Abb.: 17

a) Bei senkrechtem Aufschlag des Sammlers

$D_a = 558,8 \text{ mm}$	→ Außendurchmesser
$D_m = 556,8 \text{ mm}$	→ mittlerer Schweißnahtdurchmesser
$a = 2 \text{ mm}$	→ Stärke der Schweißnaht

Bestimmung der angreifenden Kraft:

Masse des Ventiltellers mit
angeschraubtem Wasserbehälter → $m_1 = 30 \text{ kg}$

Masse des Klöpperbodens → $m_2 = 6 \text{ kg}$

Masse des Zylindermantels 2 → $m_3 = 1 \text{ kg}$

Gesamtmasse → $m = 37 \text{ kg}$

maximale Beschleunigung $\rightarrow a' = 10 \cdot g$
bei der Landung

$$F = m \cdot a' \rightarrow F = 3700 \text{ N}$$

unter Berücksichtigung des $\rightarrow \varphi = 2$
Stoßfaktors

$$\text{angreifende Kraft} \quad F' = F \cdot \varphi \rightarrow F' = 7400 \text{ N}$$

=====

Auftretende Spannung: Zugspannung bei senkrechter Landung des Sammlers.

vorhandene Spannung:

$$\sigma_{zSchw} = \frac{F'}{A_{Schw}} \quad A_{Schw} = \text{Schweißnahtquerschnitt}$$
$$A_{Schw} = D_m \cdot \pi \cdot a$$

$$\sigma_{zSchw} = \frac{F'}{D_m \cdot \pi \cdot a} \rightarrow \sigma_{zSchw} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

=====

zulässige Spannung:

$$\sigma_{zSchwzu1} = V \cdot \sigma_{zzu1} \quad \text{Schweißfaktor } V = 0,4$$

zulässige Zugspannung nach
DIN 18800 für Stumpfnähte: $\sigma_{zzu1} = 160 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{zSchwzu1} = 64 \text{ N/mm}^2$$

=====

$$\sigma_{zSchw} \leq \sigma_{zSchwzu1}$$
$$2,1 \text{ N/mm}^2 < 64 \text{ N/mm}^2$$

=====

vorhandene Sicherheit:

$$S = \frac{\sigma_{zSchwzu1}}{\sigma_{zSchw}} \rightarrow S = 30$$

=====

b) bei seitlichem Aufschlag des Sammlers

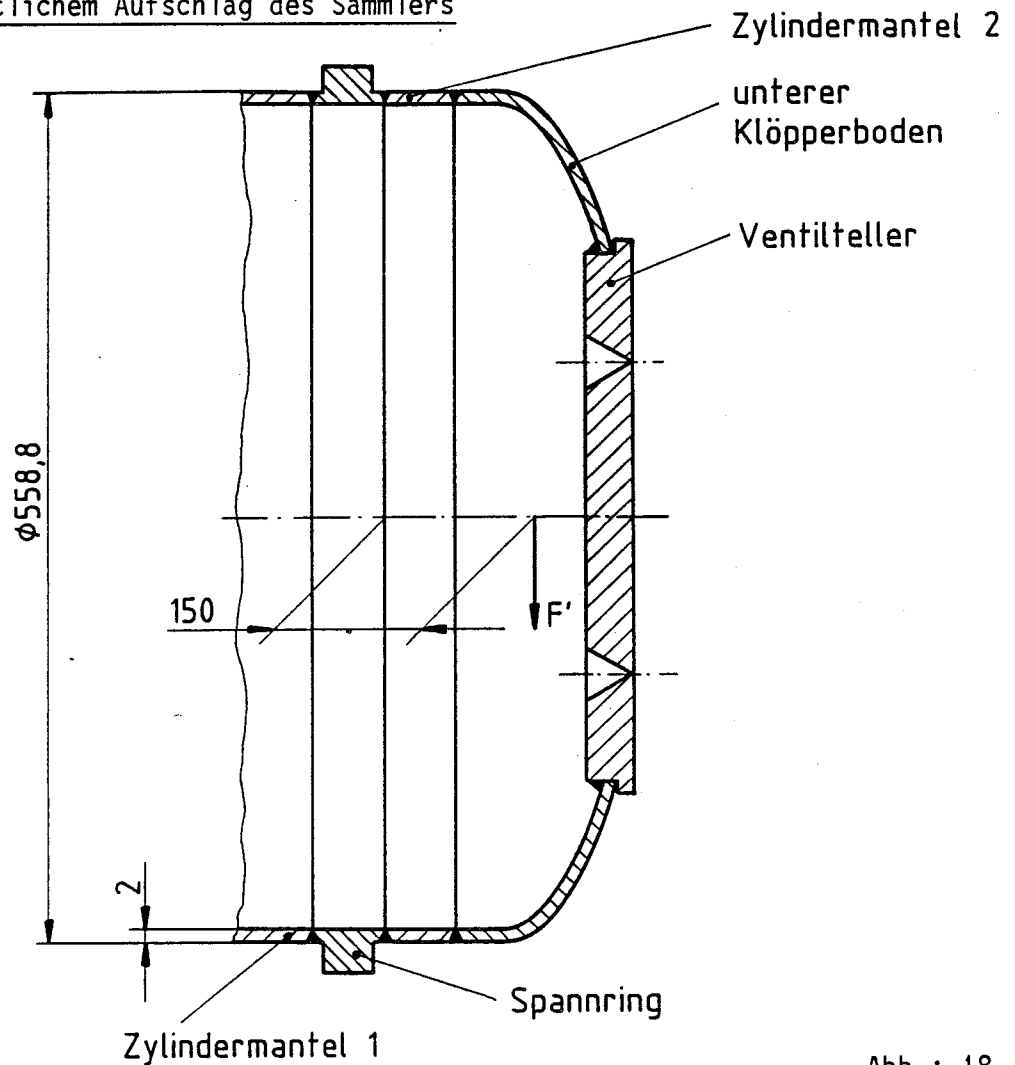


Abb.: 18

$$D_a = 558,8 \text{ mm}$$

$$D_i = 554,8 \text{ mm}$$

$$D_m = 556,8 \text{ mm}$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

$$l = 150 \text{ mm}$$

→ Außendurchmesser

→ Innendurchmesser

→ mittlerer Durchmesser der Schweißnaht

→ Stärke der Schweißnaht

→ Hebelarm

Bestimmung der angreifenden Kraft:

Masse des Ventiltellers mit
angeschraubtem Wasserbehälter

$$m_1 = 30 \text{ kg}$$

Masse des Klöpperbodens

$$m_2 = 6 \text{ kg}$$

Masse des Zylindermantels 2

$$m_3 = 1 \text{ kg}$$

Gesamtmasse

$$m = 37 \text{ kg}$$

maximale Beschleunigung bei seitlicher Landung $\rightarrow a' = 5 \cdot g$

$$F = m \cdot a' \rightarrow F = 1850 \text{ N}$$

unter Berücksichtigung des Stoßfaktors $\rightarrow \varphi = 2$

angreifende Kraft $F' = F \cdot \varphi \rightarrow F' = 3700 \text{ N}$
 =====

Auftretende Spannungen: Schub- und Biegespannungen bei seitlicher Landung des Sammlers

vorhandene mittlere Schubspannung:

$$\tau_{smSchw} = \frac{F'}{A_{Schw}} \quad A_{Schw} = \text{Schweißnahtquerschnitt}$$

$$A_{Schw} = D_m \cdot \pi \cdot a$$

$$\tau_{smSchw} = \frac{F'}{D_m \cdot \pi \cdot a} \rightarrow \tau_{smSchw} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

=====

vorhandene maximale Schubspannung:

$$\tau_{smaxSchw} = \frac{4}{3} \cdot \tau_{smSchw}$$

$$\tau_{smaxSchw} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

=====

vorhandene Biegespannung:

$$\sigma_{bSchw} = \frac{M_b}{W_{bSchw}} \quad M_b \rightarrow \text{Biegemoment}$$

$$M_b = F' \cdot l$$

$$W_{bSchw} \rightarrow \text{Widerstandsmoment der Schweißnaht}$$

$$W_{bSchw} = \frac{D_a^4 - D_i^4}{D_a} \cdot \frac{\pi}{32}$$

$$\sigma_{bSchw} = \frac{F' \cdot l \cdot D_a \cdot 32}{\pi \cdot (D_a^4 - D_i^4)} \rightarrow \sigma_{bSchw} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

=====

vorhandene Vergleichsspannung:

$$\sigma_{vSchw} = 0,5 \left(\sigma_{bSchw} + \sqrt{\sigma_{bSchw}^2 + 4 \cdot \tau_{smaxSchw}^2} \right)$$
$$\sigma_{vSchw} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

=====

zulässige Vergleichsspannung:

$$\sigma_{vSchwzul} = V \cdot \sqrt{\sigma_{bzul}^2 + \tau_{szul}^2}$$

Schweißfaktor: $V = 0,48$
zul. Biegespannung für Stumpfnähte nach DIN 18800:

$$\sigma_{bzul} = 160 \text{ N/mm}^2$$

zul. Schubspannung nach
DIN 18800:

$$\tau_{szul} = 135 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vSchwzul} = 100 \text{ N/mm}^2$$

=====

$$\sigma_{vSchw} \leq \sigma_{vSchwzul}$$

$$2,2 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2$$

=====

vorhandene Sicherheit:

$$S = \frac{\sigma_{vSchwzul}}{\sigma_{vSchw}} \rightarrow S = 46$$

=====

8.1.4. Festigkeitsberechnung der Zahnräder /8/11/

Auf Grund der geringen Drehzahl der Zahnräder werden die Zahnräder nur überschlagsmäßig auf Zahnfuß- und Zahnflankenfestigkeit berechnet.

8.1.4.1. Berechnung des Moduls nach Zahnfußfestigkeit

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot q \cdot M_{t1\max}}{\sigma_{bzu1} \cdot (0,85 \cdot \varepsilon) \cdot \lambda \cdot z_1}}$$

m	→	Modul		
q	→	Zahnformfaktor	→	q = 3,37
M _{t1max}	→	maximales Drehmoment	→	M _{t1max} = 20 N/m
σ _{bzu1}	→	zulässige Spannung	→	σ _{bzu1} = 180 N/mm ²
		für CuZn39 Pb2		
		aus DIN 17670		
ε	→	Überdeckungsgrad	→	ε = 1,7
λ	→	Zahnbreitenverhältnis	→	λ = 10
z ₁	→	Zähnezahl des Ritzels	→	z ₁ = 20

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot q \cdot M_{t1\max}}{\sigma_{bzu1} \cdot (0,85 \cdot \varepsilon) \cdot \lambda \cdot z_1}} \rightarrow m = 1,4 \text{ mm}$$

=====

8.1.4.2. Berechnung auf Zahnflankenfestigkeit

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{t1\max}}{K_{ezu1} \cdot y_{e1} \cdot \lambda \cdot z_1^2}}$$

m	→	Modul		
M _{t1max}	→	maximales Drehmoment	→	M _{t1max} = 20 Nm
K _{ezu1}	→	zulässige Pressung	→	K _{ezu1} = 3,5 N/mm ²
y _{e1}	→	Flankenpressungsfaktor	→	y _{e1} = 0,23
λ	→	Zahnbreitenverhältnis	→	λ = 10
z ₁	→	Zähnezahl des Ritzels	→	z ₁ = 20

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{t1\max}}{K_{ezu1} \cdot y_{e1} \cdot \lambda \cdot z_1^2}} \rightarrow m = 2,3 \text{ mm}$$

=====

Mit dem Modul von m = 3 mm ist das Ritzel ausreichend bemessen.

8.1.5. Lagerberechnung

Berechnung der statischen Sicherheit nach Franke Wälzlager Katalog

Berechnung der Belastung:

$p = 1 \text{ bar}$ → äußerer Überdruck
 $A = 0,15 \text{ m}^2$ → Fläche des Flansches
 F_A → Belastung auf den Flansch bedingt durch den
 äußeren Überdruck

$$F_A = p \cdot A \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{F_A = 15 \text{ kN}}}$$

Ermittlung der vorhandenen Sicherheit bei statischer Beanspruchung nach:

$$S_{ST} = \frac{C_{0A}}{F_A}$$

S_{ST} → statische Sicherheit

$C_{0A} = 187,5 \text{ kN}$ → statische Tragzahl nach Tabelle

$$S_{ST} = \frac{C_{0A}}{F_A} \rightarrow \underline{\underline{S_{ST} = 12,5}}$$

$$S_{ST} > 3,0$$

Der Sicherheitsfaktor ist für Lager mit hoher Laufgenauigkeitsanforderung ausreichend bemessen.

Die Drehzahl des Flansches bei der Probenentnahme ist so gering ($V < 0,1 \text{ m/sec}$), daß keine Berechnung auf dynamische Beanspruchung erfolgen muß.

8.2. Wärmebilanz des Kryosammlers /1/

8.2.1. Wärmebelastung durch Wärmeleitung der Festkörper

Die Wärmebelastung durch Wärmeleitung errechnet sich aus:

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k)$$

\dot{Q}_L —→ zugeführte Wärmemenge durch Wärmeleitung in Festkörper pro Zeiteinheit in W

A —→ wärmeleitender Querschnitt in cm²

l —→ wärmeleitende Länge in cm

$\bar{\lambda}$ —→ mittlere Wärmeleitfähigkeit in $\frac{W}{cm \cdot K}$
 $\bar{\lambda} = 0,123 \frac{W}{cm \cdot K}$ für nichtrostenden Stahl

T_w —→ Temperatur am warmen Ende in K

$$T_w = 300 \text{ K}$$

T_k —→ Temperatur am kalten Ende in K

$$T_k = 77 \text{ K}$$

a) dünnwandiges Rohr am Stopfen

Rohr \varnothing 27,3 mm x 0,15 mm

$$A = 0,13 \text{ cm}^2$$

$$l = 10 \text{ cm}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k) \rightarrow \dot{Q}_L = 0,36 \text{ W}$$

=====

b) vertikale Verspannung

24 Spanndrähte mit einem Durchmesser von 2,5 mm

$$A = 1,2 \text{ cm}^2$$

$$l = 27,4 \text{ cm}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k) \rightarrow \dot{Q}_L = 1,2 \text{ W}$$

=====

c) tangentiale Verspannung

24 Spanndrähte mit einem Durchmesser von 2,5 mm

$$A = 1,2 \text{ cm}^2$$

$$l = 15 \text{ cm}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k) \rightarrow \underline{\underline{\dot{Q}_L = 2,2 \text{ W}}}$$

d) Einfüllrohr für LN₂

Rohr $\varnothing 4 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$

$$A = 0,06 \text{ cm}^2$$

$$l = 31 \text{ cm}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k) \rightarrow \underline{\underline{\dot{Q}_L = 0,05 \text{ W}}}$$

e) Abgasrohr für LN₂

Rohr $\varnothing 4 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$

$$A = 0,06 \text{ cm}^2$$

$$l = 70 \text{ cm}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k) \rightarrow \underline{\underline{\dot{Q}_L = 0,02 \text{ W}}}$$

f) Stopfen im Hals des Sammlers

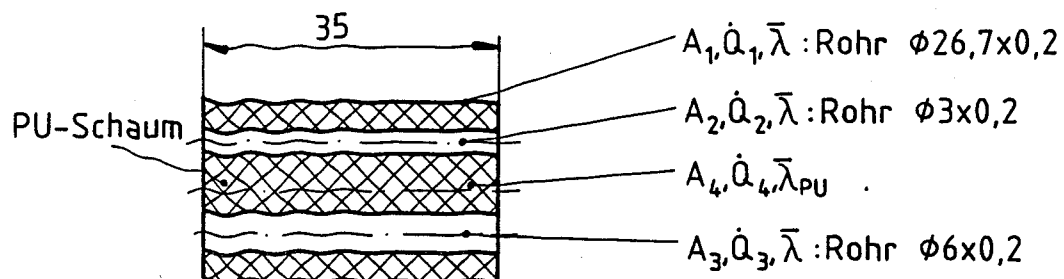


Abb.: 19

$$A_1 = 0,17 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 0,02 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 0,04 \text{ cm}^2$$

$$A_4 = 5,1 \text{ cm}^2$$

$$l = 3,5 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda} = 0,123 \frac{\text{W}}{\text{cm h}} \quad \text{für rostfreien Stahl}$$

$$\bar{\lambda}_{\text{PU}} = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{cm h}} \quad \text{für PU-Schaum}$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4$$

Durch Einsetzen und Umstellung erhält man:

$$\dot{Q}_L = \left[(A_1 + A_2 + A_3) \cdot \bar{\lambda} + A_4 \cdot \bar{\lambda}_{\text{PU}} \right] \cdot \frac{(T_w - T_k)}{1}$$

$$\dot{Q}_L = 1,9 \text{ W}$$

=====

g) Membranbalg

$$D_a = 460 \text{ mm}$$

$$D_i = 400 \text{ mm}$$

$$s = 0,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Wandstärke}$$

$$A = 6,8 \text{ cm}^2$$

$$l = 21 \text{ cm}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{A}{l} \cdot \bar{\lambda} \cdot (T_w - T_k) \rightarrow \dot{Q}_L = 8,9 \text{ W}$$

=====

Die gesamte Wärmebelastung des Sammlers durch Wärmeleitung der Festkörper beträgt:

$$\dot{Q}_{L_{\text{ges}}} = \dot{Q}_{L_{a)}} + \dot{Q}_{L_{b)}} + \dot{Q}_{L_{c)}} + \dot{Q}_{L_{d)}} + \dot{Q}_{L_{e)}} + \dot{Q}_{L_{f)}} + \dot{Q}_{L_{g)}})$$

$$\dot{Q}_{L_{\text{ges}}} = 14,63 \text{ W}$$

=====

8.2.2. Wärmebelastung durch Strahlung

Damit die Wärmebelastung durch Strahlung gering gehalten wird, sind der Außenmantel sowie der LN₂-Tank beidseitig elektropoliert worden.

Die Wärmebelastung durch Strahlung errechnet sich aus:

$$\dot{Q}_S = \sigma \cdot E \cdot A_K \cdot (T_w^4 - T_k^4)$$

\dot{Q}_S → auf die kalte Oberfläche eingestrahlte Wärmemenge pro Zeiteinheit in W

σ → Strahlungskonstante

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \quad \text{in } \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

T_w → Temperatur der warmen Oberfläche in K
 $T_w = 300 \text{ K}$

T_k → Temperatur der kalten Oberfläche in K
 $T_k = 77 \text{ K}$

E → Ein Faktor, der durch die beiden Strahlungszahlen (Emissions- bzw. Absorptionsvermögen) der warmen und kalten Fläche, sowie durch die Geometrie bestimmt wird.

Für lange koaxiale Zylinder, sowie für Kugeln gilt:

$$E = \frac{E_w \cdot E_k}{E_w + \frac{A_k}{A_w} \cdot (1 - E_w) \cdot E_k}$$

E_w = Emissionsvermögen der warmen Fläche

E_k = Emissionsvermögen der kalten Fläche

A_w = warme Fläche

A_k = kalte Fläche

8.2.2.1. Strahlenbelastung am Wärmetauscher, an den Abschirmrohren und an den Kühlfingern

$E_w = 0,08$ → für elektropolierten, nichtrostenden Stahl

$E_k = 0,03$ → für vergoldetes Kupfer

$$\begin{aligned} A_w &= 0,3 \text{ m}^2 \\ A_k &= 0,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$E = \frac{E_w \cdot E_k}{E_w + \frac{A_k}{A_w} \cdot (1 - E_w) \cdot E_k} \rightarrow E = 0,02$$

$$\dot{Q}_{S_1} = \sigma \cdot E \cdot A_k (T_w^4 - T_k^4) \rightarrow \dot{Q}_{S_1} = 3,7 \text{ W}$$

8.2.2.2. Strahlenbelastung am LN₂ -Tank

Anwendung der Vielschicht- oder Superisolation

Voraussetzung: $p \leq 10^{-5}$ mbar

Die gesamte Wärmezufuhr wird durch eine effektive Wärmedurchgangszahl k_{eff} beschrieben, die sowohl die Anteile der Strahlung, der Festkörperleitung und der Restgasleitung enthält.

$$k_{\text{eff}} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{cm K}}$$

→ Wärmedurchgangszahl bei gut ausgeführter Superisolation

Die gesamte zugeführte Wärmemenge pro Zeiteinheit ist dann gegeben durch:

$$\dot{Q}_S = k_{\text{eff}} \cdot \frac{A}{d} (T_w - T_k) \quad \text{in W}$$

$$A_k \rightarrow \text{Oberfläche} \quad \text{in cm}^2$$

$$d \rightarrow \text{Dicke der Isolation} \quad \text{in cm}$$

$$k_{\text{eff}} \rightarrow \text{Wärmedurchgangszahl} \quad \text{in } \frac{\text{W}}{\text{cm K}}$$

$$A_k = 7400 \text{ cm}^2$$

$$k_{\text{eff}} = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{cm K}}$$

→ da die Superisolation nicht ideal angebracht wurde

$$d = 1 \text{ cm}$$

$$T_w = 300 \text{ K}$$

$$T_k = 77 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{S_2} = k_{\text{eff}} \cdot \frac{A}{d} (T_w - T_k) \longrightarrow \dot{Q}_{S_2} = 3,3 \text{ W}$$

Die gesamte Wärmebelastung des Sammlers durch Strahlung beträgt:

$$\dot{Q}_{S_{\text{ges}}} = \dot{Q}_{S_1} + \dot{Q}_{S_2} \longrightarrow \dot{Q}_{S_{\text{ges}}} = 7 \text{ W}$$

8.2.3. Wärmebelastung durch Wärmeleitung des Restgases

Die Wärmebelastung durch Wärmeleitung des Restgases braucht nur für den Sammelraum berechnet zu werden, da diese Wärmebelastung im Raum zwischen Außenmantel und LN₂-Tank bereits bei der Superisolation berücksichtigt wurde.

Die Wärmebelastung durch die Wärmeleitung des Restgases errechnet sich aus:

$$\dot{Q}_G = A_k \cdot c \cdot a_o \cdot p \cdot (T_w - T_k)$$

\dot{Q}_G \longrightarrow der kalten Oberfläche zugeführte Wärmemenge durch Wärmeleitung des Restgases in W

c \longrightarrow gasartabhängige Konstante
für Luft: $c = 0,012$

a_o \longrightarrow Konstante, abhängig vom Akkommodationskoeffizienten $a_o = 0,5$

A_k \longrightarrow kalte Oberfläche in cm²

p \longrightarrow Druck in mbar

T_w \longrightarrow Temperatur der warmen Oberfläche in K
 $T_w = 300 \text{ K}$

T_k \longrightarrow Temperatur der kalten Oberfläche in K
 $T_k = 77 \text{ K}$

Wärmeleitung des Restgases im Sammelraum

Der Druck im Sammelraum beträgt vor dem Sammeln, also im stationären Zustand:

$$p = 10^{-5} \text{ mbar}$$

$$A_k = 4000 \text{ cm}^2$$

Die Wärmebelastung im stationären Zustand ergibt sich zu:

$$\dot{Q}_{G_{st}} = A_k \cdot c \cdot a_o \cdot p \cdot (T_w - T_k) \longrightarrow \dot{Q}_{G_{st}} = 53 \text{ m W}$$

=====

Das Einströmen von Atmosphärgas während des 7-stündigen Sammelvorganges sowie die Dampfzugabe zur Bildung der Matrix verursachen einen Druckanstieg bis auf 0,25 mbar im Sammelraum. Zur Ermittlung der Wärmebelastung durch das Restgas im Sammelraum während des Sammelvorganges kann daher mit einem mittleren Druck von $p = 10^{-2}$ mbar gerechnet werden.

Die Wärmebelastung während des Sammelvorganges beträgt:

$$\dot{Q}_{G_s} = A_k \cdot c \cdot a_o \cdot p (T_w - T_k) \longrightarrow \dot{Q}_{G_s} = 53,5 \text{ W}$$

=====

8.2.4. Gesamte Wärmebelastung und Verdampfungsrate des Kryosammlers

Bei einer Wärmezufuhr von 1 W verdampfen im Sammler 22 ml LN₂ in der Stunde

a) im stationären Betrieb des Sammlers

Wärmebelastung		Verdampfungsrate in 1 LN ₂ /h
Wärmeleitung	$\dot{Q}_L = 14,63 \text{ W}$	0,32
Strahlung	$\dot{Q}_S = 7 \text{ W}$	0,15
Restgas	$\dot{Q}_G = 53 \text{ mW}$	0,001
Gesamtbelastung	$\dot{Q}_{ges} = 21,7 \text{ W}$	0,5

Die Verdampfungsrate im stationären Betrieb beträgt ca. 0,5 l LN₂/h.

b) während des Sammelvorganges

Wärmebelastung		Verdampfungsrate in 1 LN ₂ /h
Wärmeleitung	$\dot{Q}_L = 14,63 \text{ W}$	0,33
Strahlung	$\dot{Q}_S = 7 \text{ W}$	0,15
Restgas	$\dot{Q}_G = 53,5 \text{ W}$	1,2
Gesamtbelastung	$\dot{Q}_{ges} = 75 \text{ W}$	1,7

Die Verdampfungsrate während des Sammelvorganges beträgt ca. 1,7 l LN₂/h.

8.2.5. Standzeit des Kryosammlers bei 80 % LN₂-Verbrauch

Die gesamte Sammelzeit in der Stratosphäre beträgt etwa 7 Stunden.

Der Gesamtinhalt des LN₂-Tanks beträgt 50 Liter. Bei einem Restinhalt von 20 % stehen 40 Liter zum Verbrauch zur Verfügung.

Für den Sammelvorgang von 7 h Dauer werden insgesamt 12 l LN₂ benötigt. Es verbleiben noch 28 l LN₂.

Nach dem Sammeln sinkt der Druck im Sammelraum nicht mehr auf $p = 10^{-5}$ bar ab, da die Kryoadsorptionspumpe in ihrer Pumpleistung nachläßt. Der sich einstellende Druck beträgt dann etwa 10^{-3} bis 10^{-2} mbar. Dadurch erhöht sich der LN₂-Verbrauch im stationären Zustand auf etwa 1 - 1,5 l LN₂. Der vorhandene Stickstoffgehalt von 28 l würde somit erst nach ca. 20 h verbraucht sein. Der Kryosammler weist auf Grund dieser Berechnung eine Gesamtstandzeit von ca. 27 h auf.

9. Technische Daten

Höhe des Sammlers	825	mm
Durchmesser des Sammlers	594	mm
Anzahl der Probenfinger	14	
Gesamtgewicht des Sammlers	ca. 1400	N
Zeolithfüllung	ca. 11	l
Fassungsvermögen des LN ₂ -Tanks	ca. 50	l
LN ₂ -Verbrauch im stationären Zustand	ca. 0,5	l/h
LN ₂ -Verbrauch während des Sammelvorganges	ca. 1,7	l/h
Standzeit des Kryosammlers	ca. 27	h

10. Literaturverzeichnis

- / 1/ Werner Wiedemann: Experimentelle Mössbauertechnik im Bereich tiefer Temperaturen, Band 1 und 2
Bayerische Akademie der Wissenschaften,
München, 1969

- / 2/ M. Helten, D. Mihelcic, M. Trainer, E. Klein, W. Pätz, P. Gerhard, J. Chatzipetros, H. Stechemesser, W. Scharenberg, J. Klomfass, J. Schmitz, D. H. Ehhal: Messung von Radikalkonzentrationen in der Atmosphäre
KFA-Jülich, ICH 3,
Jahresbericht II, 1978

- / 3/ Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter: AD-Merkblätter
Zusammenarbeit von 7 Verbänden
Carl Heymanns Verlag KG
Köln, 1977

- / 4/ H. P. Schumacher: Ingenieurarbeit: Auslegung und konstruktive Gestaltung eines Kryosammlers zur Messung von Radikalkonzentrationen in der Troposphäre
Fachhochschule Aachen, Abtlg. Jülich,
Oktober, 1980

- / 5/ Dieter Wölgens: Ingenieurarbeit: Konstruktion eines Kryosammlers zur Entnahme von Luftproben in der Stratosphäre
Fachhochschule Aachen, Abtlg. Jülich,
Mai, 1981

- / 6/ VDI-Bildungswerk: Vakuumtechnik

- / 7/ VDI-Bildungswerk: Kryotechnik

- / 8/ H. Roloff, W. Matek: Maschinenelemente
Friedr. Vieweg & Sohn, Verlagsgesellschaft-bmH,
Braunschweig, 1972

- / 9/ Alfred Böge: Das Techniker Handbuch
Friedr. Vieweg & Sohn, Verlagsgesellschaft-mbH,
Braunschweig, 1986
- /10/ Max Wutz: Theorie und Praxis der Vakuumtechnik
Friedr. Vieweg & Sohn, Verlagsgesellschaft-mbH,
Braunschweig, 1982
- /11/ Decker: Maschinenelemente, Gestaltung und Berechnung
Carl Hanser Verlag
Berlin, 1982